

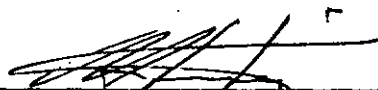
ALGORITMO NUMÉRICO PARA PROJETO DE

SISTEMAS HIDRÁULICOS

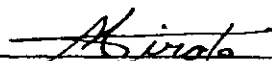
Nilton Castro Couto

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

Aprovada por:



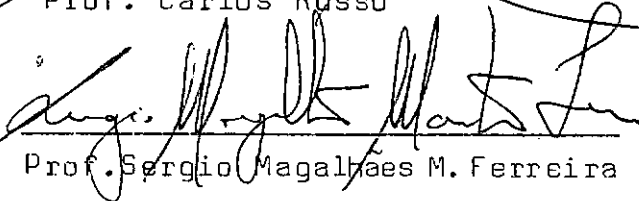
Prof. Cyrus Macedo Hackenberg



Prof. Miguel Hirata



Prof. Carlos Russo



Prof. Sergio Magalhães M. Ferreira

RIO DE JANEIRO, RJ-BRASIL

NOVEMBRO DE 1978

COUTO, NILTON CASTRO

Algoritmo numérico para projeto de sistemas
hidráulicos [Rio de Janeiro] 1978.

VIII, 135p. 29,7cm (COPPE-UFRJ, M.
Sc, Engenharia Mecânica, 1978)

Tese - Univ. Fed. Rio de Janeiro. Fac.
Engenharia

I. Mecânica dos Fluidos I. COPPE/UFRJ
II. Título (série).

Ao professor Cirus Macedo
Hackenberg os meus agradece
cimentos pela sua valiosa
orientação.

R E S U M O

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um algoritmo computacional, na área de Mecânica dos Fluidos, para projeto de instalações e sistemas hidráulicos. Consiste, principalmente, no desenvolvimento de um método de projeto de sistemas hidráulicos, compatível com a utilização de métodos computacionais em relação às variáveis de projeto, características do movimento de fluidos incompressíveis e Newtonianos, em regime estacionário.

Com tal objetivo, desenvolveu-se um algoritmo numérico, utilizando-se equações de Darcy-Weisbach, Hagen-Poiseuille e Hazen-Williams, para o cálculo da perda de carga, e de Colebrook, para o cálculo do fator de atrito. A resolução da equação de Colebrook foi pelo método iterativo de Newton-Raphson. As características para a determinação dos coeficientes de resistência em elementos do sistema hidráulico, tais como válvulas, reduções, derivações, etc., compõe um segundo algoritmo para as perdas de carga secundárias. Este algoritmo numérico, correspondente a um sistema iterativo convergente, atende aos vários anéis e aos padrões de projeto dos sistemas.

O programa global, composto das rotinas de cálculo, utiliza também um esquema iterativo de correção dos incrementos das vazões em cada anel do sistema, ao mesmo tempo em que considera as alterações necessárias resultantes da utilização dos elementos secundários.

Os elementos secundários são calculados segundo as equações convencionais da literatura existente, na forma de energia cinética, de modo a facilitar a introdução de novos parâmetros quando estes se fizerem necessários. Além disso, o programa atende especificações restritivas em pressão de ejeção nos vários pontos de intersucção dos anéis, possibilitando uma rápida análise de performance do comportamento do sistema, corrigindo automaticamente os diâmetros dos tubos necessários.

A B S T R A C T

This work aims at the development of a computational algorithm within the Fluids Mechanical area to the installations and hydraulic systems design. It mainly consists of the development of a method of hydraulic systems design compatible to the use of computational methods connected with the design variation and with the incompressible fluids' move characteristics and Newtonian one, in a stationary mood.

Held to such purpose, a numerical algorithm was developed through the use of equations from Darcy - Weisbach - Hazen - Poiseuille and Hazen-Williams, to figure out the loss of charge, and from Colebrook, to figure out the factor of friction. Colebrook's equation solution was gotten by the use of iterative method. The characteristics to establish Newton-Raphson's coefficients of resistance within the hydraulic systems elements, such as valves, reductions, derivations and so one, compose a second algorithm to the secondary losses of charge. This numerical algorithm corresponds to a convergent iterative system and fits on several loops and on patterns of the systems design.

The whole schedule, composed of usual calculation, also makes use of a small iterative scheme for correcting the increments of drainages in each system loop, while, at the same time, it controls the necessary changes which come from the use of the secondary elements.

The secondary elements are calculated according to the conventional equations from the existing literature, in a cinetic energy mood, so that to facilitate the inclusion of further details whenever they are necessary. Besides, the schedule is okay for restrictive specifications in pressure of ejection on different points of the loops' intersuction and for this reason the schedule makes possible a quick study on the system's behavior acting by putting in order, automatically, the diameter of tubes.

Í N D I C E

	<u>PÁG.</u>
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II - METODOLOGIA	5
II.1 - Cálculo das vazões e perdas de carga em tubos	5
II.2 - Diagramas de blocos(funcionais) para o projeto	13
II.3 - Perda de carga secundária	19
II.3.1 - Redução concêntrica com alargamento gradual	20
II.3.2 - Redução concêntrica com redução gradual	22
II.3.3 - Bifurcação em tê	22
II.3.4 - Bifurcação em ângulo	23
II.3.5 - Derivação angular	24
II.3.6 - Cotovelos	25
II.3.7 - Válvulas	26
II.3.8 - Alargamento brusco	27
II.3.9 - Redução brusca	28
II.3.10- Joelhos	29
II.3.11- Terminais	30
II.4 - Determinação dos diâmetros de projeto	31
CAPÍTULO III - PROJETO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS	33
III.1 - Método de enumeração dos sistemas	35
III.2 - Aplicações	38
III.3 - Projetos de sistemas com uma fonte	41
III.4 - Fluxuogramas	46
CAPÍTULO IV - ANÁLISE DOS RESULTADOS	75
IV.1 - Resultados obtidos	75
IV.2 - Recomendações	79

	<u>PÁG.</u>
BIBLIOGRAFIA	80
ANEXO I - PROGRAMA COMPUTACIONAL	82
I.1 - Codificação das variáveis e parâmetros	82
I.2 - Programação dos dados e resultados	86
I.2.1 - Sequência de resultados	87
I.3 - Manual de operação do programa	87
I.3.1 - Relativamente aos dados do projeto	87
I.3.2 - Sub-rotina para cálculo de redução concêntrica	91
LISTAGEM DO PROGRAMA	93

N O M E N C L A T U R A

A	Área da seção transversal do tubo, em ft^2
AS	Soma algébrica das perdas de carga do sistema, em ft
C	Coeficiente de Hazen-Williams, adimensional
D	Diâmetro interno do tubo, em in
f	Fator de atrito, adimensional
g	Aceleração da gravidade, em ft/seg^2
XH	Razão entre a perda de carga no tubo e o fluxo de vazão, em ft/gpm
i	Notação indicial que representa o número de tubos no anel
j	Notação indicial que representa o número do anel
ΔP_S	Perda de carga secundária, em ft
HL	Perda de carga nos tubos, em ft
K	Coeficiente de resistência
L	Comprimento dos tubos, em ft
NR	Número de Reynolds, adimensional
P	Pressão na entrada e na saída, em lb/in^2
Q e Q_o	Razão de escoamento, em gpm
R	Raio do tubo, em in
V	Velocidade média de escoamento do fluido, em ft/seg
SX	Soma algébrica da razão entre a perda de carga no tubo e o fluxo de vazão, em ft/gpm
ρ	Massa específica do fluido, em lb/ft^3
ν	Viscosidade cinemática do fluido, em ft^2/seg
ϵ	Rugosidade absoluta, em ft
ΔQ	Fator de correção para a vazão, em gpm

ΔP	Queda de pressão entre dois pontos, em lb/in^2
θ	Ângulo formado pelo cotovelo
ϕ	Ângulo formado na redução
α	Ângulo formado em tê comum
β	Ângulo formado na bifurcação
γ	Ângulo formado na derivação angular

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

Em épocas remotas, a importância da água consistia apenas em ser um fluido transportado de uma região para outra através de tubos ou dutos. Bernoulli, considerado o pioneiro em sistemas hidráulicos, foi um dos primeiros a fazer uso desse tipo de transporte; deu uma equação que ficou mundialmente conhecida como equação de Bernoulli, dela se utilizando para fazer cálculos de perda de carga, vazões, etc., empregados na construção de chafarizes. Com o passar do tempo, as indústrias foram se desenvolvendo tecnologicamente e, atualmente, nas mais complexas, tornou-se de vital importância o papel do transporte de fluidos, feito, na grande maioria através de tubos, quer durante sua produção e processo, quer na sua utilização. Os fluidos mais comuns, tais como água, óleo, gases e ácidos, têm sua importância em processos industriais, mas ainda carecem de estudo aprimorado no sentido de uma progressão mais satisfatória, para atender às aspirações cada vez mais crescentes das indústrias em suas diversas modalidades.

Cumprе não esquecer que fluido não é somente algo a ser transportado, existe larga aplicação da sua utilização em mecanismos hidráulicos e pneumáticos, usados extensivamente, inclusive em se tratando em controle de aeronaves.

O estudo desenvolvido para sistemas hidráulicos propiciará a resolução de números finitos de tubos e anéis, compatível com a utilização de soluções computacionais em relação às variáveis de projeto, relacionados ao movimento de fluidos incompressíveis.

O presente trabalho baseia-se no método do professor Hardy-Cross⁽¹⁾, que consiste na suposição de vazões, partindo-se de uma vazão inicial de entrada, através da rede, e no balanceamento dessas vazões através das perdas de carga. Desse método, para frente, tornou-se como objetivo um algoritmo numérico, utilizando-se equações, conhecidas, da mecânica dos fluidos e da hidráulica. Faz-se a distinção entre os regimes laminar e turbulento pelo número de Reynolds, que, por sua vez, é uma função da vazão, por intermédio da velocidade.

Como foi há pouco mencionado, o cálculo da perda de carga é o fator preponderante para que as vazões nos aludidos tubos sofram uma correção através de um método iterativo. A soma algébrica das perdas de carga de cada tubo no anel deverá ser obrigatoriamente encontrada. Chega-se a essa soma, levando-se em conta que, dada a vazão de entrada, o próprio algoritmo, usando de uma sub-rotina, fará a distribuição dessa vazão através dos anéis, de modo que os fluxos de vazões no sentido dos ponteiros do relógio sejam positivos e os fluxos contrários a esse movimento negativos. A seguir, determinam-se os incrementos que corrigem as vazões em todos os tubos. Para os tubos que pertencem a dois anéis, far-se-á uma correção do incremento do tubo em um anel, menos o incremento desse mesmo tubo no outro anel; todos os incrementos serão comparados com um grau de precisão, que ficará a critério do projetista. Quando os incrementos forem muito pequenos, as vazões estarão corrigidas; caso contrário, isto é, quando apenas um desses incrementos apresentar um valor que não esteja dentro do grau de precisão fornecido pelo projetista, o programa ficará em processo iterativo, até que todos os incrementos convirjam com o grau de precisão desejado. Como ilustração, é fornecido adiante, um exemplo de como se realiza o processo, com dois anéis contendo sete tubos:

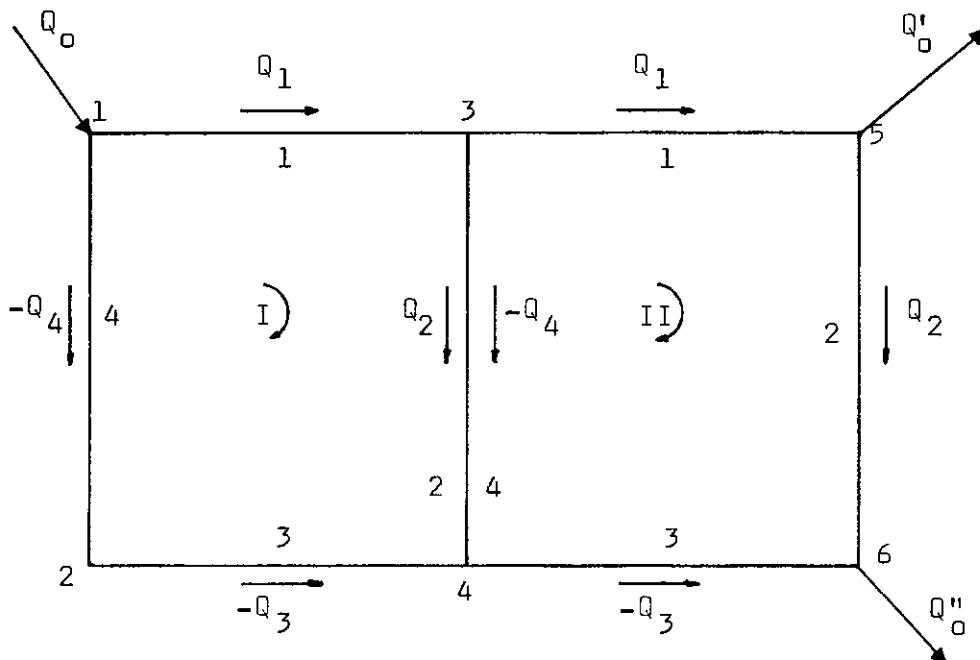


Figura I.1

- 1) I e II correspondem ao número do anel que compõe o sistema. Estes serão representados pelo primeiro índice da notação indicial, e os tubos, em cada anel, serão representados pelo segundo índice da notação indicial, logo $j = 1, 2$ e $i = 1, 2, 3, 4$
- $Q_{T_{ji}}$ representa a vazão no tubo i no anel j
- 2) Q_0 é a vazão inicial de entrada para o sistema
- 3) Q'_0 e Q''_0 são as vazões na saída
- 4) $Q_1, Q_2, -Q_3$ e $-Q_4$ constituem a distribuição da vazão inicial através do sistema, levando-se em consideração o diâmetro e os comprimentos dos tubos, que são parâmetros de projeto.
- 5) Os tubos de cada anel terão um fator de correção $\Delta Q_j (j=1, 2)$
- 6) Para o tubo comum aos dois anéis, far-se-á a correção da vazão através de equações específicas. Neste caso podemos escrever

$$Q_{T_{ji}} = Q_{INC_{ji}} + \Delta Q_j$$

$$Q_{T_{ji}} = Q_{T_{ji}} - \Delta Q_k$$

onde $j=1$ e $i=2$ ou $j=2$ e $i=4$

No capítulo seguinte serão fornecidas explicações mais pormenorizadas sobre o processo.

Somente poucos problemas em mecânica dos fluidos apresentam o escoamento laminar em tubos. Eles podem ser resolvidos por meio da matemática racional, enquanto que os demais requerem métodos de solução que se apoiem em determinados coeficientes experimentais. Muitas fórmulas empíricas têm sido propostas para os escoamentos de fluidos em tubos, mas freqüentemente são limitadas, somente podendo

ser aplicadas quando as condições do problema se aproximam das condições em que as fórmulas foram derivadas. O algoritmo numérico elaborado nesta tese utiliza essas fórmulas empíricas para fluidos incompressíveis, objetivando seu emprego no cálculo das pressões necessárias nos nós, desde que se conheça a potência requerida pela bomba, (dado fornecido pelo fabricante) as quedas de pressões entre os nós, e as vazões corrigidas nos tubos, que são calculados pelo algoritmo. Graças aos cálculos das vazões necessárias em determinados pontos, das velocidades de arraste, da diferença de pressão entre os nós e do cálculo da pressão nesses nós, tem esse algoritmo larga aplicação: nas indústrias e refinarias, como sistema de distribuição de utilidades; na agricultura, como sistema de irrigação e em instalações industriais no combate a incêndios.

Os sistemas hidráulicos não precisam, necessariamente, ser em forma de anéis. Assim, o abastecimento de fluidos para qualquer unidade industrial não depende somente do caminho através do sistema, e sim de um resultado complexo de redes de tubulações a serem construídas. Maior expansão dos sistemas hidráulicos, normalmente, exigirá um estudo da distribuição de vazões no sistema, para se determinar o efeito do aumento das perdas de carga e para indicar onde a expansão é requerida. Esses estudos, quando executados manualmente, consomem muito tempo e são suscetíveis de erros, devido ao grande número de passos repetitivos envolvidos no cálculo de um sistema hidráulico.

Tão extensivas são as aplicações da hidráulica e da mecânica dos fluidos no desenvolvimento da tecnologia que, nos últimos anos, ambas tem sido de grande valor. Seus recursos, muito longe de estarem esgotados, ainda proporcionem uma análise melhor fundamentada e alicerçada cientificamente para atender ao desenvolvimento tecnológico.

CAPÍTULO II - METODOLOGIA

Neste capítulo será abordado o desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas hidráulicos compatível com a utilização de métodos computacionais, em função das variáveis de projeto, relacionados ao movimento de fluidos incompressíveis, levando-se em consideração as seguintes hipóteses simplificativas de que:

- o escoamento seja isotérmico;
- o escoamento se dê em regime permanente;
- o fluido seja homogêneo;
- os fluidos sejam incompressíveis;
- a seção do tubo seja circular.

Utiliza-se o número de Reynolds como parâmetro básico de projeto. Parte do algoritmo desenvolvido, baseia-se em equações que são resultados analíticos do escoamento de fluidos Newtonianos em dutos circulares, enquanto que, para melhor convergência do método em regiões turbulentas, optou-se por equações semi-empíricas, que se tem mostrado de boa eficiência na literatura científica. Grande parte do empirismo considerado nesse algoritmo, resulta da aplicação das equações da perda de carga, baseada na energia cinética do fluido, através dos coeficientes de resistência dinâmico, e aplicada para o cálculo das perdas de carga secundárias em elementos, tais como, válvulas, reduções, derivações e outras. Este algoritmo numérico correspondente a um sistema iterativo convergente em vários anéis, atende aos padrões de projetos utilizados até a presente data, e pode ser utilizado para os sistemas de distribuição de fluidos industriais, sistema de proteção a incêndio e os sistemas de irrigação.

II.1 Cálculo das vazões e perdas de carga em tubos

Para determinação das vazões e perdas de carga em tubos, partiu-se de equações conhecidas da mecânica dos fluidos e da hidráulica. A primeira - e mais conhecida dessas equações - é a equação da continuidade. Ela resulta do princípio da conservação

da massa. Para o escoamento permanente, a massa de fluido que passa por todas as seções de uma corrente de fluido por unidade de tempo é a mesma. Consequentemente, para fluidos incompressíveis, resulta que:

$$Q_{ji} = AV_{ji} \quad (II.1)$$

onde: Q_{ji} = vazão de escoamento

A = área da seção transversal do tubo

V_{ji} = velocidade média de escoamento do fluido.

Desta equação, podemos escrever que:

$$V_{ji} = \frac{4Q_{ji}}{\pi D_{ji}^2} \quad (II.2)$$

onde: D_{ji} = diâmetro interno do tubo

Reynolds mostrou que a natureza do escoamento em tubos é laminar ou turbulento, e que ambas dependem do diâmetro do tubo, da massa específica, da viscosidade, e da velocidade de escoamento. O valor numérico da combinação adimensional destas quatro variáveis, conhecida como número de Reynolds, representa a razão de forças de inércia e viscosas. Logo o número de Reynolds é representado por:

$$NR_{ji} = \frac{D_{ji} V_{ji}}{\nu} \quad (II.3)$$

onde: ν = viscosidade cinemática do fluido.

Para projetos de engenharia, pode-se caracterizar o tipo de escoamento através dos padrões estabelecidos por Reynolds: se o número de Reynolds for menor ou igual a 2.100, o escoamento é laminar, e se o número de Reynolds for maior do que 4.000, o escoamen-

to é turbulento. Assim sendo, para escoamento laminar a perda de carga em tubos pode ser determinada pela equação:

$$HL_{ji} = 32 \frac{\nu L_{ji} V_{ji}}{g D_{ji}^2} \quad (II.4)$$

onde: HL_{ji} = perda de carga

L_{ji} = comprimento dos tubos

g = aceleração da gravidade

ou através da substituição de $f = 64/NR_{ji}$ na equação (II.9).

Essa é a equação de Hagen-Poiseuille⁽⁴⁾, que foi determinada analiticamente, e mais tarde confirmada experimentalmente por outros pesquisadores. Pode-se observar que na referida equação a perda de carga varia linearmente com a velocidade.

Caso o número de Reynolds seja maior que 2.100, o escoamento será turbulento, e a perda de carga é calculada por meio de equações específicas. Através de testes experimentais e pesquisas em escoamentos em regime turbulento, para tubos lisos e rugosos, demonstrou-se o relacionamento entre o fator de atrito, o número de Reynolds e a rugosidade relativa, pelo diagrama de Stanton⁽⁹⁾. Mais tarde esse diagrama foi refeito por L.F. Moody⁽⁵⁾, baseando-se no formato do diagrama de Stanton, mas usando rugosidades relativas de tubos comerciais e utilizando a equação de Colebrook⁽⁴⁾, para determinação do fator de atrito.

Entre esses pesquisadores, encontram-se Blasius⁽⁴⁾, que deduziu uma equação para o cálculo do fator de atrito em tubos lisos, quando o número de Reynolds varisse entre 3.000 e 100.000. Essa equação para o cálculo do fator de atrito é representada por:

$$f = \frac{0,316}{NR^{0,25}} \quad (II.5)$$

Seguindo-se a esse, Prandtl-Karman⁽⁴⁾ sugeriram que, para número de Reynolds até 3.000.000, em tubos lisos, o fator de atrito seria determinado pela equação:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log (NR \sqrt{f}) - 0,8 \quad (\text{II.6})$$

e que, em tubos rugosos, a equação para o cálculo do fator do atrito seria representada por:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{R}{\epsilon} + 1,74 \quad (\text{II.7})$$

Nikuradse⁽⁹⁾, fazendo experiências com tubos revestidos uniformemente com grãos de areia, e de diversos diâmetros, conseguiu obter excelentes resultados para o cálculo do fator de atrito, usando para esta comparação o diagrama elaborado por Stanton. Os resultados obtidos por Nikuradse não podem ser aplicados a problemas de engenharia, pois as rugosidades relativas de tubos comerciais são inteiramente diferentes das rugosidades artificiais usadas em suas experiências; todavia, os resultados apresentados por Nikuradse são geralmente aceitos hoje como modelo básico dessas medidas.

Os fatores de atrito, f , calculados pelas equações propostas por Karman, Prandtl, Blasius e outros, exigem muitos processos iterativos em cada faixa de trabalho; desse modo, preferiu-se utilizar equações da energia cinética em interesse do estudo, da maneira descrita a seguir.

Se o número de Reynolds variar entre 2.100 e 10.000, utiliza-se a equação de Hazen-Williams⁽¹²⁾:

$$HL_{ji} = \frac{10,43 L_{ji}}{C_{ji}^{1,85} D_{ji}^{4,87}} Q_{ji}^{1,85} \quad (HL_{ji} \text{ em ft}) \quad (\text{II.8})$$

Na determinação da perda de carga pela equação de Hazen-Williams, aparece um parâmetro C_{ji} , denominado de coeficiente de Hazen-Williams. Tal parâmetro é fornecido em vários livros de mecânica dos fluidos, dependendo da escolha do tipo de material a ser usado para o escoamento de fluidos.

Para valores do número de Reynolds maiores que 10.000, estabelecemos que a equação que determina o cálculo da perda de carga em tubos é representada pela equação de Darcy-Weisbach⁽⁶⁾:

$$HL_{ji} = f \frac{L_{ji}}{D_{ji}} \frac{v_{ji}^2}{2g} \quad (II.9)$$

Nesse tipo de regime ou na zona de transição, a perda de carga varia diretamente com o quadrado da velocidade. Para valores do número de Reynolds dentro desta faixa, usamos a equação sugerida por Colebrook⁽⁴⁾ para o cálculo do fator de atrito:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7 D_{ji}} + \frac{2,51}{NR \sqrt{f}} \right) \quad (II.10)$$

Sendo essa equação empírica, obtida de dados experimentais, ela foi desenvolvida para aplicação em tubos comerciais. Podendo ser utilizada para uma vasta faixa de rugosidades e número de Reynolds bastante elevados. A rugosidade absoluta ϵ ou altura efetiva das irregularidades da parede do tubo é dada em ft. Para se ter conhecimento do valor da rugosidade absoluta, é necessário conhecer-se o tipo de material do tubo que será usado para o escoamento do fluido e tirar esse valor de tabelas que são fornecidas em vários livros de mecânica dos fluidos. Caso se deseje conhecer a rugosidade relativa ϵ/D , divide-se a rugosidade absoluta pelo diâmetro interno do tubo.

A equação de Colebrook é utilizada para qualquer tipo de fluido, enquanto que a equação de Hazen-Williams geralmente só é usada para o escoamento de água.

A equação de Colebrook não apresenta máximos ou mínimos, ou pontos de inflexão; desse modo, a resolução dessa equação para f pode ser feita através da iteração de Newton-Raphson⁽³⁾.

Conhecendo-se as perdas de carga nos tubos, e a distribuição da vazão ao longo do sistema, determina-se a razão entre a perda de carga em cada tubo e o fluxo de vazão através desses tubos. Então, de acordo com o que foi exposto:

$$X_{H_{ji}} = \frac{H_{L_{ji}}}{Q_{ji}} \quad (II.11)$$

Para efeito de cálculo de programa computacional de projeto, é de interesse conhecer os somatórios de $H_{L_{ji}}$ e $X_{H_{ji}}$ em todos os anéis. Então, pode-se de acordo com o que foi exposto, determinar o fator de correção ΔQ_j , tal como apresentado em (II.17). A seguir representamos os somatórios pelos algoritmos:

$$AS_j = \sum (H_{L_{ji}}) \quad (II.12)$$

$$SX_j = \sum (X_{H_{ji}}) \quad (II.13)$$

Onde definimos AS_j como sendo a soma algébrica das perdas de carga para cada anel do sistema, e SX_j a soma algébrica da razão entre a perda de carga no tubo e o fluxo de vazão através desse tubo. Em seguida, associa-se a cada anel o fator de correção ΔQ_j , para equilibrar a carga no sistema através da equação desenvolvida em⁽⁴⁾.

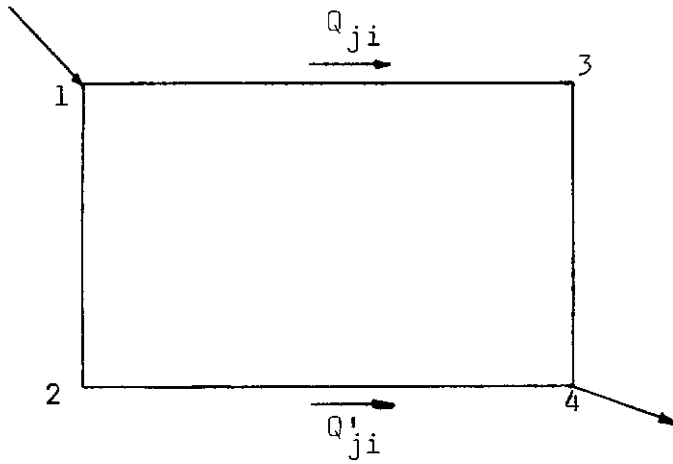


Figura II.1

Com base nessa figura, pode-se dizer que:

$$HL_{134} = HL_{124} \quad (II.14)$$

onde

$$HL_{ji} = K Q_{ji}^n \quad (II.15)$$

A equação exponencial (II.15) é usualmente empregada para o cálculo das perdas de carga. No caso da fórmula de Hazen-Williams $n_1 = 1,85$, e no caso de Darcy, $n_2 = 2$:

$$HL_{(ji)_1} = K_1 Q_{ji}^{n_1} \quad HL_{(ji)_2} = K_2 Q_{ji}^{n_2}$$

Como são admitidos fluxos iniciais Q_{ji} , eles serão corrigidos para qualquer tubo do anel, através da equação:

$$Q_{ji} = Q_{ji} + \Delta Q_j \quad (II.16)$$

em que

Q_{ji} = vazão corrigida

ΔQ_j = fator de correção a ser aplicado a Q_{ji} no cálculo da vazão

Pela equação da continuidade, temos:

$$\Sigma HL(ji)_1 + \Sigma HL(ji)_2 = 0$$

$$\Sigma K_1 Q_{ji}^{n_1} + \Sigma K_2 Q_{ji}^{n_2} = 0$$

$$\Sigma K_1 (Q_{ji} + \Delta Q_j)^{n_1} + \Sigma K_2 (Q_{ji} + \Delta Q_j)^{n_2} = 0$$

Usando-se o teorema da expansão binominal, tem-se:

$$\Sigma K_1 (Q_{ji}^{n_1} + n_1 Q_{ji}^{n_1-1} \Delta Q_j + \dots) + \Sigma K_2 (Q_{ji}^{n_2} + n_2 Q_{ji}^{n_2-1} \Delta Q_j + \dots) = 0$$

Desprezando-se todos os termos da série a partir do segundo membro da expressão, tendo-se em vista que ΔQ_j é muito pequeno em comparação a Q_{ji} , tem-se:

$$\Sigma K_1 Q_{ji}^{n_1} + n_1 \Sigma K_1 Q_{ji}^{n_1-1} \Delta Q_j + \Sigma K_2 Q_{ji}^{n_2} + n_2 \Sigma K_2 Q_{ji}^{n_2-1} \Delta Q_j = 0$$

$$(n_1 \Sigma K_1 Q_{ji}^{n_1-1} + n_2 \Sigma K_2 Q_{ji}^{n_2-1}) \Delta Q_j = - \Sigma HL(ji)_1 - \Sigma HL(ji)_2$$

$$\Delta Q_j = - \frac{\Sigma HL(ji)_1 + \Sigma HL(ji)_2}{n_1 \Sigma K_1 \frac{Q_{ji}^{n_1}}{Q_{ji}} + n_2 \Sigma K_2 \frac{Q_{ji}^{n_2}}{Q_{ji}}}$$

$$\Delta Q_j = - \frac{\Sigma HL(ji)_1 + \Sigma HL(ji)_2}{1,85 \frac{\Sigma HL_1}{Q_{ji}} + 2,0 \frac{\Sigma HL_2}{Q_{ji}}} \quad (II.17)$$

Logo a equação (II.17) é a equação utilizada para determinar o fator de correção ΔQ_j para cada tubo do anel. Esse fator de correção, sendo substituído na equação (II.16) dará o valor da vazão corrigida Q_{ji} através de um processo iterativo. Para os casos em que um tubo pertença a dois anéis, a diferença entre os dois fatores de correção de cada anel deverá ser aplicada como a própria correção para a vazão Q_{ji} . Quando todos os fatores de correção tiverem valores desprezíveis, as vazões Q_{ji} estarão corrigidas. Caso contrário, quando apenas um desses fatores de correção não for desprezível, o sistema sofrerá sempre processos iterativos, utilizando como etapa inicial as vazões Q_{ji} que foram corrigidas, até que todos os ΔQ_{ji} convirjam para valores desprezíveis.

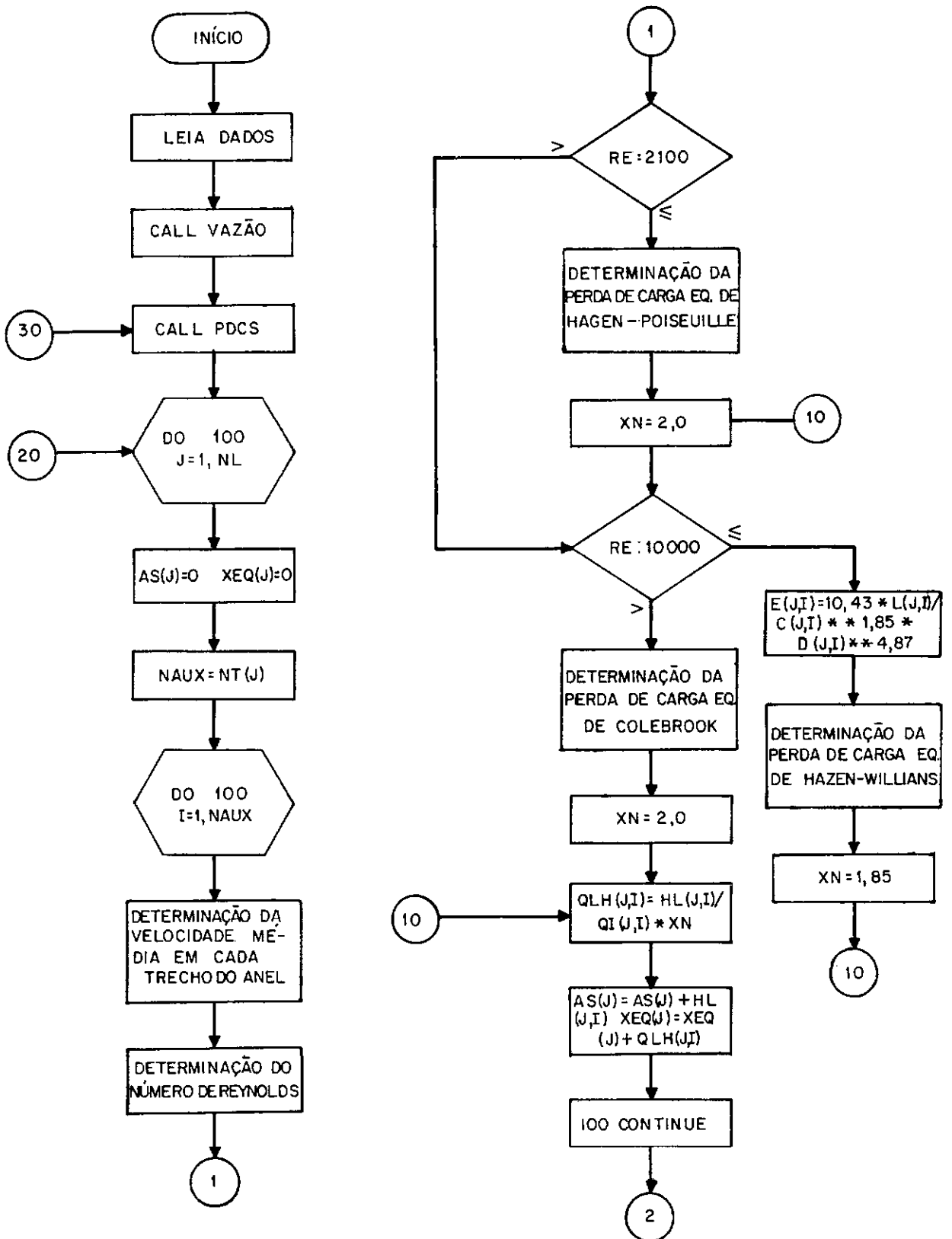
Então, a ampliação do método computacional pode ser feito através de números finitos de anéis, pois cada um poderá utilizar uma equação iterativa independente. O programa global demonstra estar preparado para absorver este tipo de sistemática.

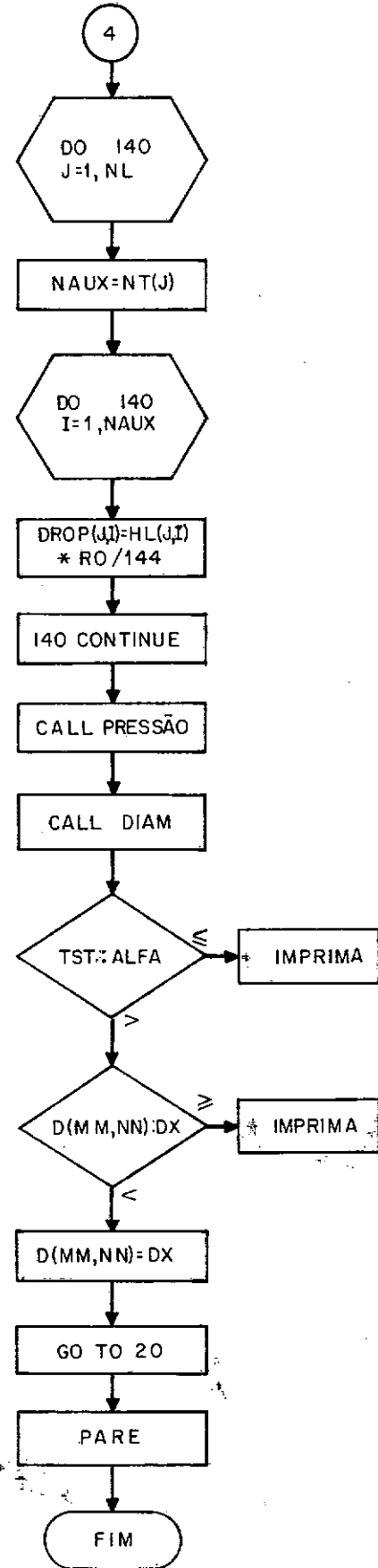
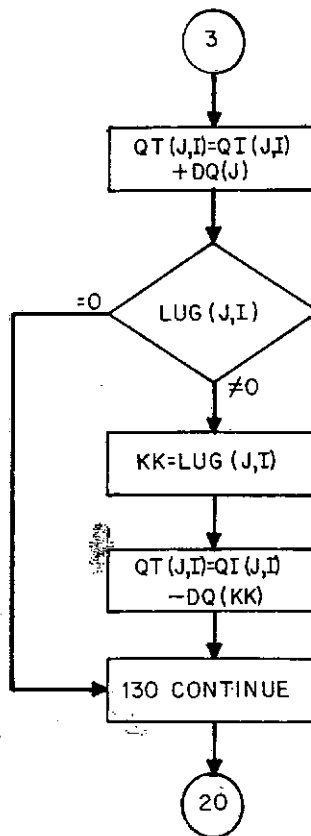
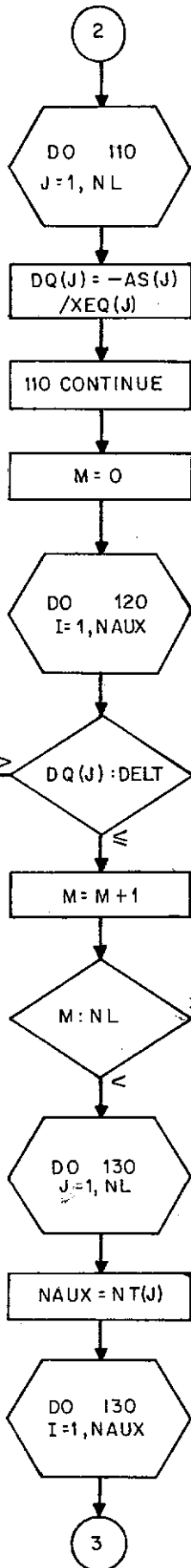
Existe outro método para o cálculo de projetos de sistemas hidráulicos. Esse método consiste em se conhecer a pressão na entrada do sistema e fazer-se a pressuposição dessa pressão nos diversos nós da rede. Em seguida resolve-se esse método pela mesma metodologia há pouco apresentada, mas usando a equação de Fanning para resolução da queda de pressão; um desenvolvimento mais detalhado desse método é apresentado por Brice Carnahan⁽¹⁰⁾.

II.2 Diagramas de blocos(funcionais) para o projeto

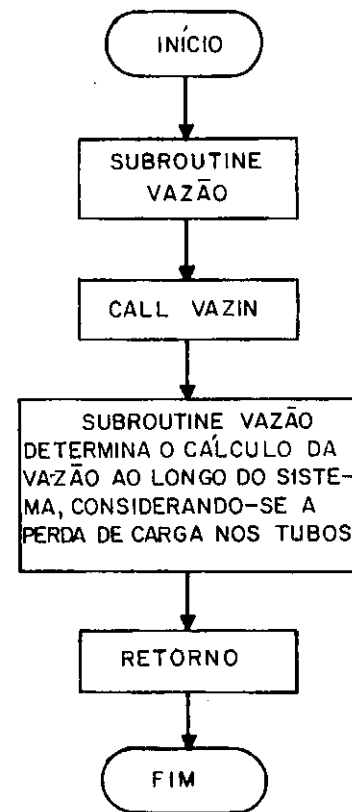
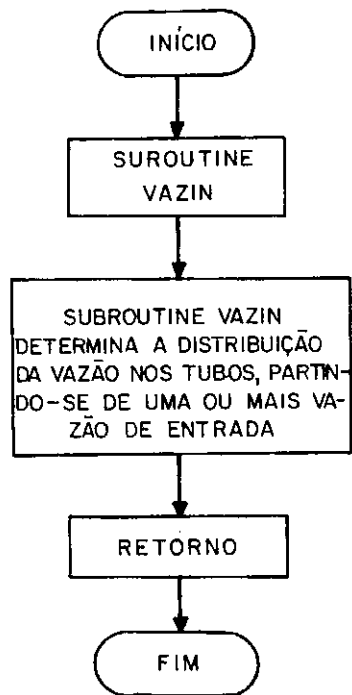
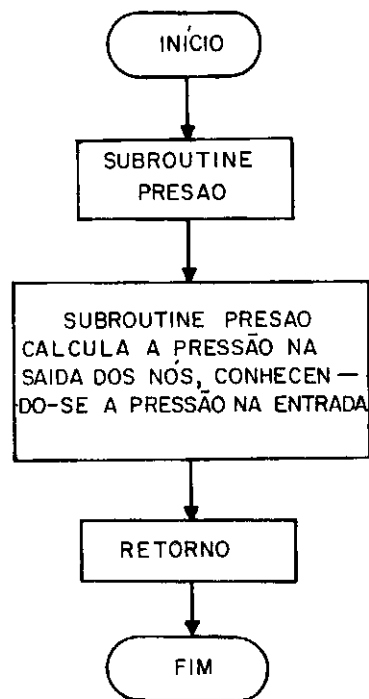
Objetivando tornar mais fácil a compreensão do programa computacional elaborado, apresentamos diagramas de blocos detalhando partes do programa principal e as sub-rotinas utilizadas.

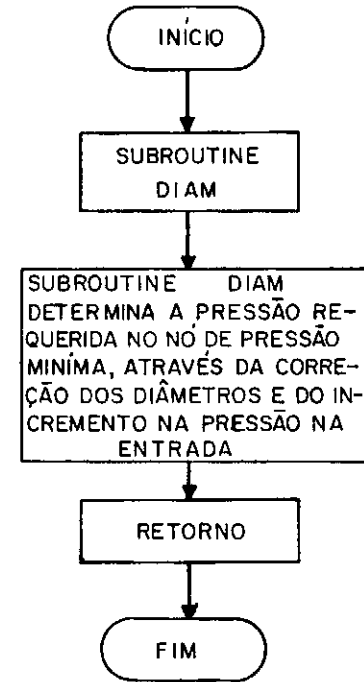
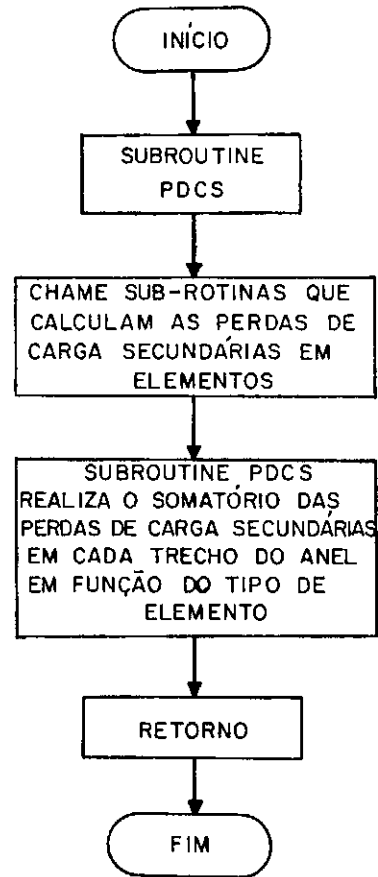
PROGRAMA PRINCIPAL





SUB-ROTINAS





Os diagramas funcionais, diferem bastante dos diagramas de projeto, apresentados em outras literaturas. Esses diagramas utilizam sub-rotinas para cálculo das perdas de carga e das vazões, sendo conhecidos, os diâmetros, os coeficientes de Hazen-Williams, os comprimentos e as vazões na entrada do sistema com base no número de Reynolds. Além dessa sub-rotina, usamos outras, em que, conhecendo-se determinados parâmetros de projeto, determinam a perda de carga secundária em elementos, sendo que, para cada tipo de elemento empregamos uma sub-rotina que calcula essa perda de carga através da equação da energia cinética, utilizando um coeficiente de resistência K , que é fornecido por meio de tabelas. De posse da perda de carga nos tubos e nos elementos, fazemos o somatório de ambas, e usamos para recalcular a vazão final Q_{ji} e a diferença de pressão ΔP_{ji} nos tubos. Por meio de duas outras sub-rotinas, calcula-se a pressão na saída de cada nó, conhecendo-se a pressão na entrada, e determina-se no ponto mais afastado do sistema, onde a pressão é mínima, a pressão de operação desejada, através da correção dos diâmetros e da pressão na entrada. Algumas vantagens desse programa são:

- 1) Diversos valores do coeficiente de Hazen-Williams podem ser usados para diferentes rugosidades de tubos.
- 2) O programa admite mais de uma vazão de entrada.
- 3) Não há necessidade de fazer-se manualmente a distribuição da vazão ao longo do sistema, o próprio programa se encarregará disso.
- 4) O programa não usa comprimento equivalente para cálculo das perdas de carga.
- 5) O programa computacional determina as pressões nas saídas do sistema.
- 6) O programa computacional determina a pressão requerida no nó de pressão mínima, através da correção dos diâmetros.

II.3 Perda de carga secundária

No sub-item II.1, observou-se que a perda de carga em tubos era calculada levando-se em consideração a rugosidade e o fator de atrito, e mostrou-se que as perdas de carga variavam com o aumento ou diminuição da velocidade média, que, por sua vez, era uma função da vazão. Na fórmula de Darcy-Weisbach, onde a perda produzida pelo atrito é função da velocidade média, o valor do coeficiente aplicado na fórmula muda com a velocidade, mas a ordem dessa variação é comparativamente pequena. A equação usada, para o cálculo de todos os tipos de perdas de carga secundárias, tais como válvulas, reduções, derivações e demais elementos, será sempre representada através de uma única equação, ou seja:

$$\Delta PS_{ji} = K \frac{V_{ji}^2}{2g} \quad (II.19)$$

Onde a perda de carga secundária ΔPS_{ji} , será obtida conhecendo-se o parâmetro K, denominado de coeficiente de resistência em cada elemento. No caso da variação dos diâmetros dos tubos dos elementos secundários de escoamentos convergentes e divergentes, ou seja elementos de redução, a velocidade média a considerar será sempre a velocidade nos tubos de menor diâmetro.

Para o cálculo das perdas de carga secundárias em elementos e válvulas, utilizou-se a variação do parâmetro K. Esse parâmetro, conforme apresentado por H.W. King⁽⁶⁾ e R. Comolet⁽⁷⁾ em diversas tabelas, são determinados experimentalmente, considerando-se a rugosidade relativa de tubos comerciais, a razão entre os diâmetros, a variação da velocidade de escoamento através dos tubos e o ângulo formado por alguns elementos.

Segundo a referência⁽¹⁰⁾, existem dois métodos de resolução de perdas de carga secundárias através de válvulas e elementos. O primeiro nos diz que as perdas de carga secundárias podem ser expressas em termos do comprimento equivalente L/D de tubo. Esse comprimento equivalente é retirado de tabelas práticas, em

função do tipo de válvulas e elementos, e é geralmente o método mais usado em cálculos de projetos. Quanto a sua utilização, o comprimento equivalente tende para um valor constante, para qualquer diâmetro da linha, composta de válvulas e elementos. Este processo torna o método mais simples, mas super-dimensiona o sistema, por não levar em consideração a variação dos diâmetros dos elementos e a variação do fator de atrito, concorrendo para isso com uma maior potência requerida pela bomba e maior custo do sistema. O segundo, o que foi usado para resolução do algoritmo numérico, e sempre dado em termos do coeficiente de resistência K , determinado experimentalmente. Esse método, mais preciso que o primeiro, apresenta uma série de vantagens, tais como:

- Cálculo da perda de carga em válvulas e elementos, pela equação da energia cinética
- Apresenta menor custo para o sistema
- Menor potência requerida pela bomba
- Cálculo do projeto dentro de padrões reais
- Considera a variação dos diâmetros e do fator de atrito em elementos. Deste modo, os elementos considerados pelo algoritmo desenvolvido estão listados a seguir, onde apresentamos também os parâmetros mencionados e suas definições.

II.3.1 - Redução concêntrica com alargamento gradual

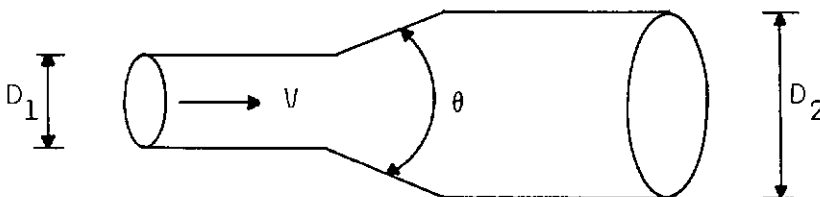


Figura II.2

A perda de carga secundária causada em reduções concêntricas com alargamento gradual é devida ao alargamento da área da seção transversal, resultando na diminuição da velocidade média de escoamento do fluxo.

O coeficiente de resistência K , é obtido da tabela II.1, utilizando como referencial o ângulo θ do cone e a razão D_1/D_2 .

θ	D_1/D_2								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5°	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01
15°	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.13	0.10	0.06
30°	0.49	0.49	0.48	0.48	0.46	0.43	0.37	0.27	0.16
45°	0.64	0.63	0.63	0.62	0.60	0.55	0.49	0.38	0.20
60°	0.72	0.72	0.71	0.70	0.67	0.62	0.54	0.43	0.24

Tabela II.1 - Coeficiente de Resistência K

Geralmente, o ângulo θ apresenta cinco valores para o alargamento gradual, o mesmo não ocorrendo com a relação D_1/D_2 , que pode ter valores variando entre aqueles que constam na tabela; torna-se, então, necessário fazer-se uma interpolação para essa relação, conhecendo-se o ângulo θ . Essa interpolação é feita automaticamente na sub-rotina em função dos dados de entrada, e está incluída nas demais sub-rotinas para cálculos de válvulas e elementos. A tabela II.1 foi obtida de H.W. King⁽⁶⁾. No entanto, o coeficiente de resistência K pode ser calculado por uma equação analítica conforme Crane⁽⁸⁾. Esta equação é utilizada como demonstração para criação de sub-rotinas; ver anexo I.

II.3.2 - Redução concêntrica com redução gradual

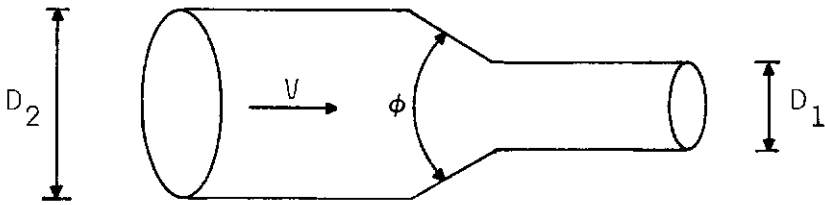


Figura II.3

A perda de carga secundária causada em reduções concêntricas com redução gradual é devida à redução da área da seção transversal, resultando no aumento da velocidade média de escoamento do fluxo. O coeficiente de resistência K , nesse caso, é determinado pela equação, R. Comolet⁽⁷⁾:

$$K = \left(\frac{1}{H-1} \right)^2 \sin \phi \quad (\text{II.20})$$

onde ϕ é o ângulo do cone, e o parâmetro H é determinado pela equação:

$$H = 0,63 + 0,37 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^3 \quad (\text{II.21})$$

II.3.3 - Bifurcação em Tê

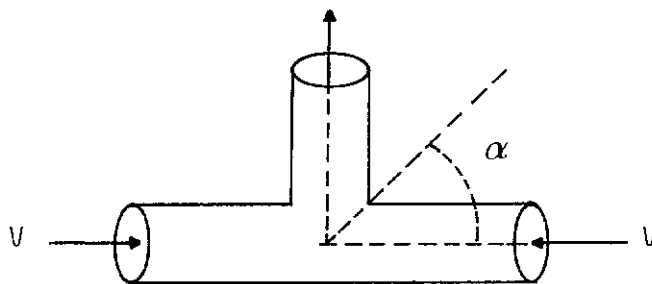


Figura II.4

A perda de carga secundária causada em bifurcação em tê é devida à bifurcação apresentada por esse elemento. O coeficiente de resistência K , para esse tipo de acessório é igual a 1,4 quando α for igual a 45° . Caso α apresente ângulos diferentes, será resolvido como bifurcação ou derivação.

II.3.4 - Bifurcação em ângulo

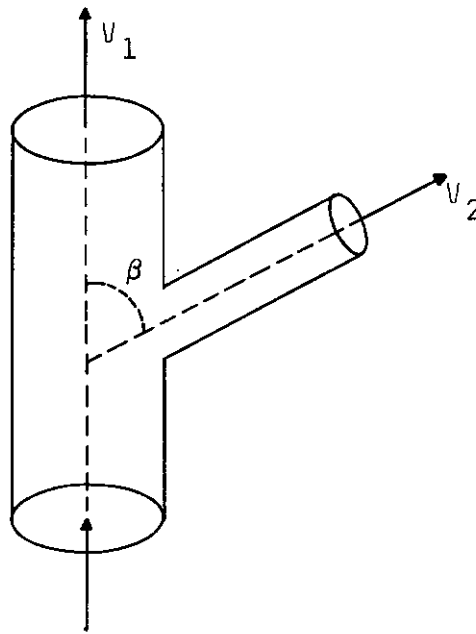


Figura II.5

A perda de carga secundária causada em bifurcação angular é devida à ramificação apresentada por esse elemento. O coeficiente de resistência K , é tirado da tabela II.2, em função do ângulo β , R. Comolet⁽⁷⁾.

β	κ
15°	0.1
30°	0.3
45°	0.7
60°	1.0
90°	1.4

Tabela II.2- Coeficiente de Resistência K

II.3.5 - Derivação angular

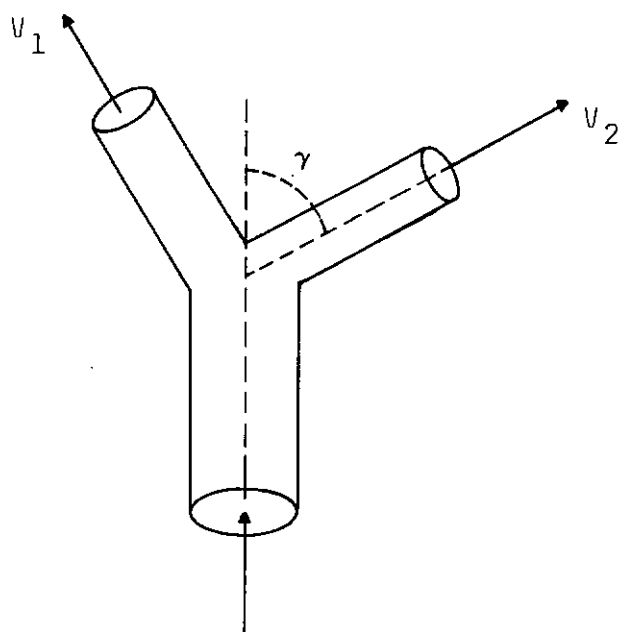


Figura II.6

A perda de carga secundária causada em derivação angular é devida à ramificação apresentada pelo elemento. O coeficiente de resistência K , é tirado da tabela II.3, em função do ângulo γ , R. Comolet⁽⁷⁾.

γ	K
15°	0.1
30°	0.3
45°	0.7
60°	1.0
90°	1.4

Tabela II.3 - Coeficiente de Resistência K

II.3.6 - Cotovelos

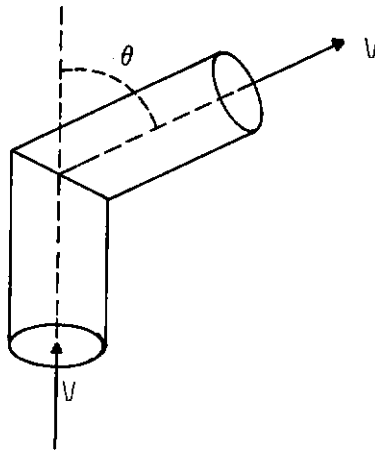


Figura II.7

A perda de carga secundária causada em cotovelos é devida à mudança de direção do fluxo. O coeficiente de resistência K , é tirado da tabela II.4, em função do ângulo θ , R. Comolet⁽⁷⁾.

θ	K
15°	0.1
30°	0.2
45°	0.5
60°	0.7
90°	1.3

Tabela II.4 - Coeficiente de Resistência K

II.3.7 - Válvulas

Os coeficientes de resistência K , para o cálculo das perdas de carga secundárias em válvulas, terão diferentes valores para cada tipo. Esses valores foram obtidos das literaturas R. Comolet⁽⁷⁾ e V.L. Streeter⁽⁹⁾.

- | | |
|------------------------|-----------|
| 1) Válvula globo | $K = 6.0$ |
| 2) Válvula gaveta | $K = 0.2$ |
| 3) Válvula angular | $K = 2.0$ |
| 4) Válvula de retenção | $K = 2.5$ |

Os coeficientes de resistência apresentados acima, são para válvulas completamente abertas. Caso deseja-se usa-las com 1/4, 1/2, ou 3/4 de abertura, os valores serão outros, que serão obtidos da literatura⁽⁶⁾.

II.3.8 - Alargamento Brusco

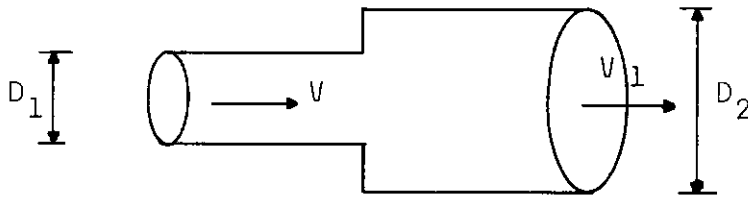


Figura II.8

A perda de carga secundária causada em alargamento brusco é devida ao alargamento brusco da seção transversal, resultando na diminuição da velocidade de escoamento do fluxo.

O coeficiente de resistência K , é obtido da tabela II.5, através de dados experimentais, conhecendo-se a velocidade média de escoamento do fluido no diâmetro menor e a razão D_1/D_2 .

Caso a velocidade média e a razão D_1/D_2 não sejam as fixadas na coluna e linha 1 da tabela II.5, será feita uma interpolação para obter-se o valor real do coeficiente de resistência. Sendo a tabela II.5 obtida de H.W. King⁽⁶⁾.

V	D_1/D_2									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2	1.0	1.0	0.96	0.86	0.74	0.60	0.44	0.29	0.15	0.04
5	0.96	0.95	0.89	0.80	0.69	0.55	0.41	0.27	0.14	0.04
10	0.91	0.89	0.84	0.76	0.65	0.52	0.39	0.26	0.13	0.04
20	0.86	0.84	0.80	0.72	0.62	0.50	0.37	0.24	0.12	0.04
40	0.81	0.80	0.75	0.68	0.58	0.47	0.35	0.22	0.11	0.03

Tabela II.5 - Coeficiente de Resistência K

II.3.9 - Redução Brusca

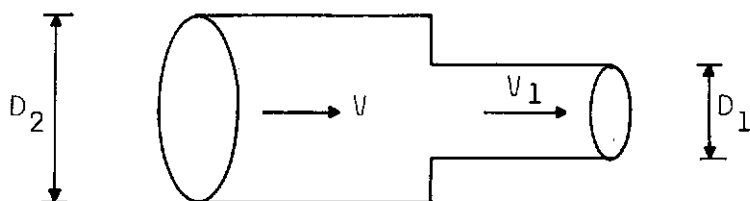


Figura II.9

A perda de carga secundária causada em reduções bruscas é devida à redução brusca da seção transversal, resultando no aumento da velocidade de escoamento do fluxo.

O coeficiente de resistência K , é obtido da tabela II.6, através de dados experimentais, conhecendo-se a velocidade média de escoamento do fluido no diâmetro menor e a razão D_1/D_2 .

Caso a velocidade média e a razão D_1/D_2 não sejam as fixadas na coluna e linha 1 da tabela II.6, será feita uma interpolação para obter-se o valor real do coeficiente de resistência. Sendo a tabela II.6 obtida de H.W. King⁽⁶⁾.

V	D_1/D_2									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2	0.49	0.49	0.48	0.45	0.42	0.38	0.28	0.18	0.07	0.03
5	0.48	0.48	0.47	0.44	0.41	0.37	0.28	0.18	0.09	0.04
10	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36	0.28	0.18	0.10	0.04
20	0.44	0.43	0.42	0.40	0.37	0.33	0.27	0.19	0.11	0.05
40	0.38	0.36	0.35	0.33	0.31	0.29	0.25	0.20	0.13	0.06

Tabela II.6 - Coeficiente de Resistência K

II.3.10 - Joelhos

Geralmente os joelhos mais comuns e utilizados em sistemas hidráulicos são os de 45, 90 e 180 graus. Para o cálculo das perdas de carga secundárias em joelhos, a velocidade a ser considerada é a velocidade média de escoamento, onde se processa o desvio do fluxo.

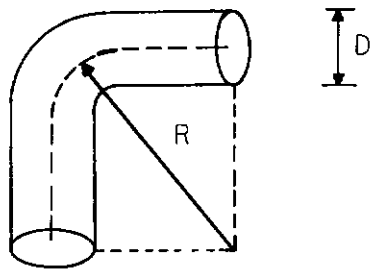


Figura II.10

O coeficiente de resistência K , é tirado da tabela II.7, conhecendo-se a razão R/D . O raio de curvatura R , é um dado que fica à escolha do projetista, esse dado é fornecido por fabricantes, em catálogos, e dependendo do fabricante, pode apresentar diferentes valores. Não devemos esquecer que, para qualquer tipo de joelho, a tabela II.7 será sempre a mesma; a mudança ocorrerá no raio de curvatura. Então o coeficiente de resistência K , depende do tipo do ângulo do joelho, que nos fornecerá um determinado raio de curvatura R , e do diâmetro nominal D a ser escolhido.

Não é necessário que a razão R/D seja exatamente a fornecida na tabela II.7, caso seja diferente, será feita uma interpolação para obter-se o valor real do coeficiente de resistência. Sendo a tabela II.7 obtida de H.W. King⁽⁶⁾ e R. Comolet⁽⁷⁾.

R/D	K
0.5	0.90
0.75	0.45
1.0	0.35
1.5	0.25
2.0	0.20
4.0	0.16
6.0	0.22
10.0	0.32
15.0	0.38
20.0	0.42

Tabela II.7 - Coeficiente de Resistência K

II.3.11 - Terminais

O coeficiente de resistência K, para determinação da perda de carga secundária em terminais (saídas) será sempre igual a 1.

A perda de carga secundária causada em terminais (entradas) é determinada considerando-se a velocidade média na entrada do sistema; a vazão QA deve ser fornecida, pois é a vazão na entrada do sistema. O coeficiente de resistência K, depende do tipo da entrada, podendo apresentar-se de quatro maneiras, CRANE⁽⁸⁾:

- 1) $K = 0,80$ a entrada do tubo e inte_rior ao bocal de saída.
- 2) $K = 0,50$ a entrada apresenta ângu_lo de 90^0 .
- 3) $K = 0,23$ a entrada é ligeiramente arredondada.
- 4) $K = 0,04$ a entrada é bem arredon-dada.

II.4 Determinação dos diâmetros de projeto

Neste sub-item apresentamos o algoritmo numérico que deter_mina o diâmetro ótimo. Esta determinação é feita por meio da sub-rotina DIAM, desenvolvida neste trabalho, usando-se a equação de Darcy⁽⁴⁾, fazendo a substituição da velocidade pela vazão, ou seja:

$$\Delta P = \frac{f}{D_{ji}^5} \left(\frac{8 \rho L_{ji} Q_{ji}^2}{9 \pi^2} \right) \quad (II.22)$$

definindo então os parâmetros

$$f_{dd} = \frac{f}{D_{ji}^5} \quad (II.23)$$

e

$$\Delta_{PQ} = \frac{8 \rho L_{ji} Q_{ji}^2}{9 \pi^2} \quad (II.24)$$

pode-se determinar da equação (II.23) o diâmetro ideal. Isto será realizado, calculando-se o fator de atrito f pela equação de Colebrook (II.10); e comparando-se o resultado com o fator f_d obtido da relação de ΔP médio do sistema com o ΔP_Q calculado.

Para facilidade de convergência, convém determinar os parâmetros comparativos como uma função do número de Reynolds, pois desta forma os valores calculados anteriormente poderão ser utilizados diretamente. Neste caso, em função da vazão escreve-se o número de Reynolds na forma:

$$NR = \frac{4 Q_{ji}}{\pi D_{ji} v} \quad (II.25)$$

Para que o diâmetro seja determinado para um sistema bem dimensionado, tomamos como base de referência o ΔP médio em todos os tubos e em todos os anéis. Logo, para o diferencial de pressão média nos tubos, os diâmetros dos tubos que apresentarem um maior diferencial de pressão serão corrigidos iterativamente. Para isso, a sub-rotina DIAM, determinará inicialmente o tubo e o anel do maior diferencial de pressão, o qual será comparado contra um parâmetro característico do grau de proporcionalidade desejado. Esse parâmetro de proporcionalidade está representado na sub-rotina pela letra ALFA, e foram utilizados os valores $\alpha = 1$ e $\alpha = 2$, para demonstrar aplicação do método até uma variação de 100% da pressão média. Conforme mencionado no próximo capítulo, esta sub-rotina permite a determinação dos diâmetros dos tubos do sistema hidráulico, quando forem especificadas as pressões nos nós e o diferencial de pressão média, caso de interesse no projeto de sistemas de proteção contra incêndio.

CAPÍTULO III - PROJETO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS

Neste capítulo apresentamos em detalhes o algoritmo numérico para projeto de sistemas hidráulicos. O projeto de vários sistemas com números finitos de anéis e tubos, pode ser realizado com uma ou mais entradas, bastando para isso conhecermos a vazão ou vazões iniciais nas entradas e as vazões nas saídas conforme o que ficou estabelecido pela equação da continuidade. A distribuição das vazões ao longo do sistema, deve ser inicialmente realizada, para que possamos calcular as perdas de carga e as vazões finais para o sistema. Neste caso, foi desenvolvida a sub-rotina VAZIN (item III.4). Essa sub-rotina determina a distribuição da vazão em cada tubo do anel, sendo conhecidos respectivamente, o número total de nós do sistema, a matriz de ligação dos nós, a matriz que define os nós em cada anel, o número total de anéis, o número total de tubos por anel, e o vetor que define o número de tubos que convergem para cada nó, definindo também, quais vazões serão positivas ou negativas, obedecendo o método de Hardy-Cross.

Conforme as equações (II.4), (II.8), (II.9) e (II.16), as perdas de carga e as vazões finais podem ser calculadas em todo o sistema se um algoritmo iterativo for aplicado, utilizando os parâmetros conhecidos e as equações correspondentes do fator de atrito. Para isto, foi desenvolvida a sub-rotina VAZAO. Essa sub-rotina (item III.4), determina as vazões corrigidas nos tubos sem considerar as perdas de carga secundárias, conhecendo os comprimentos, os diâmetros, os coeficientes de Hazen-Williams, as rugosidades absolutas e as propriedades físicas do fluido.

Partindo-se das vazões iniciais, determinamos pela equação (II.2) a velocidade média de escoamento nos tubos. O número de Reynolds definirá se o escoamento é laminar ou turbulento por intermédio da equação (II.3), conforme o que foi estabelecido no item (II.1). As equações utilizadas pelo algoritmo, no cálculo das perdas de carga, para os casos de turbulência, são as equações (II.8) e (II.9), utilizando a mesma faixa do número de Reynolds apresentado na metodologia. Na determinação das perdas de carga pelas equa-

ções (II.8) e (II.9) devemos conhecer os parâmetros de projeto C e f , que são definidos como: coeficiente de Hazen-Williams e fator de atrito. No cálculo do fator de atrito, usamos a equação (II.10) para sua resolução através do método iterativo de Newton-Raphson. Neste método devemos conhecer o parâmetro de projeto ROUGH, que representa a rugosidade absoluta de tubos comerciais. Os parâmetros C e ROUGH são obtidos da literatura. A seguir, pela equação (II.17), determinamos os incrementos ΔQ_j que corrigem as vazões em todos os tubos dos anéis pela equação (II.16); todos os ΔQ_j são comparados com o parâmetro DELT, definido como grau de precisão, que ficará a critério do projetista, geralmente DELT toma o valor de 10^{-2} a 10^{-3} . Valores menores que esses não serão necessários, pois farão com que o programa fique quase permanentemente em processo iterativo, acarretando um maior custo operacional, sem no entanto contribuir efetivamente para as correções das vazões ocasionadas pelas perdas de carga nos tubos.

Utilizamos o conjunto de sub-rotinas desenvolvidas em (III.4) para o cálculo das perdas de carga secundárias em elementos, conforme estabelecido no item (II.2). Cada sub-rotina representa o cálculo dessa perda de carga em um determinado elemento. A equação (II.19) é usada para o cálculo de todos os tipos de perdas de carga secundárias, e o uso do parâmetro K foi apresentado no capítulo de metodologia.

O programa principal é o responsável pelo cálculo da vazão final e da diferença de pressão entre os nós. Esse cálculo é feito usando o algoritmo apresentado pela sub-rotina VAZIN, considerando o somatório das perdas de carga nos tubos e das perdas de carga secundárias.

O parâmetro PTM indica o cálculo das pressões nos nós da seguinte forma: quando PTM for igual a 1, determinamos as pressões nos nós conhecendo-se a pressão na entrada, quando PTM for diferente de 1, determinamos as novas pressões nos nós do sistema, conhecendo-se a pressão no nó de pressão mínima.

De posse das vazões finais, das perdas de carga nos tubos e da diferença de pressão entre os nós, é de interesse conhecermos

as pressões nas saídas dos nós para podermos especificar uma bomba que tenha a pressão na entrada compatível com a pressão requerida pelo sistema. Isto é realizado pela sub-rotina PRESA0. Esta sub-rotina calcula essas pressões, conhecendo-se a pressão na entrada do sistema, a diferença de pressão entre os nós e a matriz que define os trechos comuns a dois anéis.

Caso o nó de pressão mínima não apresente resultado satisfatório, será necessário estabelecermos um valor para a pressão nesse nó a fim de objetivarmos um sistema quase homogêneo.. Isto é realizado pela sub-rotina DIAM, que determina a pressão requerida no nó de pressão mínima e a correção das pressões nos nós, através da mudança da pressão na entrada e dos diâmetros. Essa mudança é feita por um processo iterativo, na qual a pressão na entrada e os diâmetros sofrem incrementos por intermédio dos parâmetros PPINC e DX, esses parâmetros tomam valores de 10^{-1} a 1, e geralmente adotamos DX igual a 0,5 e PPINC igual a 1.

III.1 - Método de enumeração dos sistemas

A seguir será mostrado, através de um exemplo de aplicação, como a enumeração dos sistemas hidráulicos deverá ser obedecida.

Este exemplo encontra-se analisado por R.V. Giles⁽⁴⁾ utilizando um método de cálculo executado manualmente.

Seja o sistema hidráulico de 4 anéis e 12 tubos representado pela figura III.1:

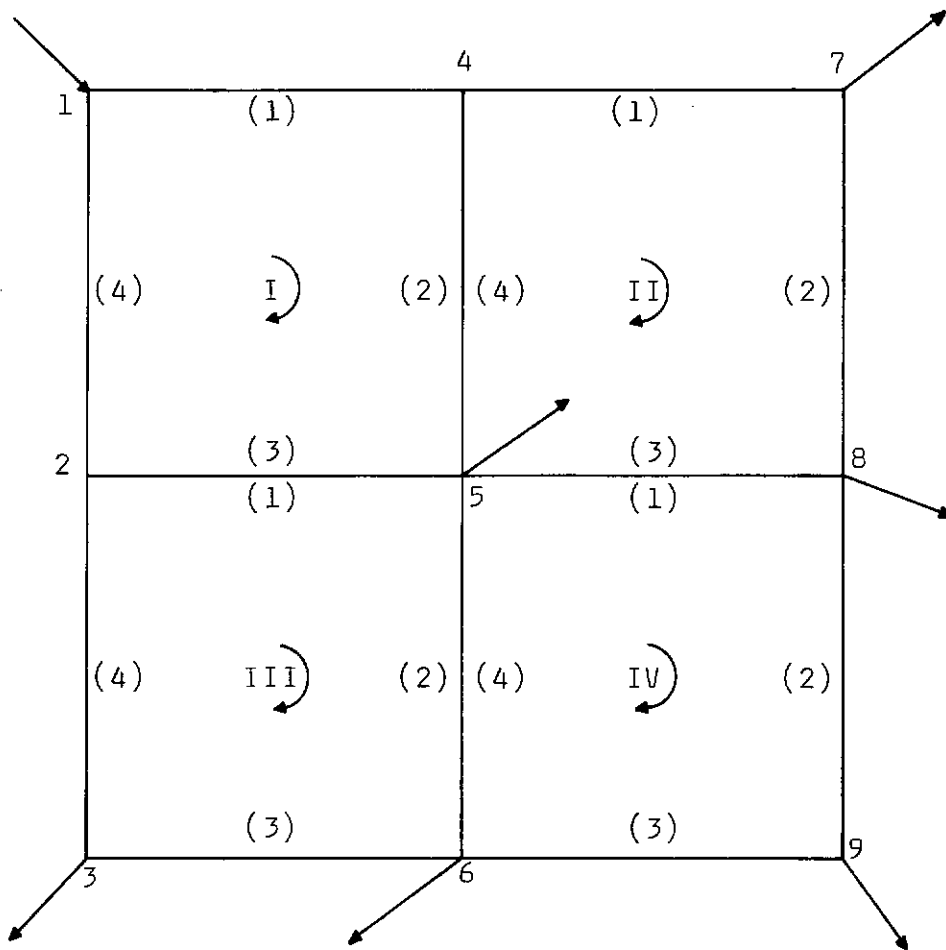


Figura III.1 - Sistema hidráulico 4:4

Nesse sistema, identificamos os seguintes parâmetros:

NL - define o número total de anéis do sistema, $NL = 4$

NT(J) - vetor que define o número total de tubos em cada anel do sistema. Nesse caso, tem-se:

$$NT(J) = (4, 4, 4, 4)$$

A enumeração dos tubos, em cada anel, poderá ser da forma apresentada pela figura III.1 ou à vontade do usuário. Os únicos critérios a serem obedecidos são: a) a enumeração do sistema será em ordem crescente, de 1 a n, b) o número do tubo, logo após o nó 1

situado no anel I, é obrigatoriamente igual a 1.

LIG(J,I) - matriz de ligação dos nós.

Os nós também deverão ser enumerados em ordem crescente, de 1 a n, de forma tal que um número maior jamais anteceda um menor. (considera-se como sendo nó apenas quando houver entrada, saída e ramificações. Nos casos de curvas e joelhos, que não apresentem entradas e saídas, estima-se uma vazão de entrada fictícia, com valor igual a zero, para transformá-los em nós):

LIG(J,I) = 0 - quando os nós não apresentam ligação entre si, e quando uma ramificação não apresenta vazão de entrada ou de saída.

LIG(J,I) = 1 - quando os nós apresentam ligação entre si, e quando uma ramificação apresenta vazão de entra-da ou de saída.

A matriz resultante para identificação do sistema da figura III.1, será então representado por:

$$\text{LIG}(J,I) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

LEG(J,I) - matriz que define os tubos de cada anel

$$\text{LEG}(J,I) = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 5 & 2 \\ 4 & 7 & 8 & 5 \\ 2 & 5 & 6 & 3 \\ 5 & 8 & 9 & 6 \end{bmatrix}$$

LUG(J,I) - matriz que define os tubos comuns a dois anéis

Quando o tubo não for comum a dois anéis, LUG(J,I) será igual a zero. Caso contrário, LUG(J,I) receberá o número do anel ao qual está sendo comparado.

$$\text{LUG}(J,I) = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 1 \\ 1 & 4 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix}$$

NO(J) - vetor que define o número total de tubos que convergem para cada nó.

NO(J) = (3, 3, 3, 3, 5, 4, 3, 4, 3)

QENT(J) - vetor que define a vazão na entrada e na saída do sistema. Para joelhos e curvas em que não ocorrem vazões de saída, deve-se adotar uma vazão de entrada fictícia, cujo o valor será zero. As vazões na entrada do sistema serão positivas; as de saída, negativas.

NTON - define o número total de nós do sistema, NTON = 9.

III.2 - Aplicações

Consideremos como aplicação dois exemplos didáticos, encontrados na literatura e que podem servir para uma verificação do

algoritmo de projeto desenvolvido. Neste dois casos so foram con- siderados os comprimentos de tubos, e para comparação fornecemos como dados as perdas de carga e as vazões nos tubos.

Seja o sistema representado pela figura III.1. A aplica- ção das matrizes definidas anteriormente leva aos resultados repre- sentados pela tabela III.1.

ANEL	TUBO	RESULTADOS DO PROGRAMA		DADOS DA LITERATURA(4)	
		VAZÃO (GPM)	P.DE CARGA (FT)	VAZÃO (GPM)	P.DE CARGA (FT)
1	1	3033	4,31	3117	6,06
1	2	771	1,30	868	2,72
1	3	1526	2,22	1437	3,75
1	4	3911	3,34	3825	4,80
2	1	2262	2,23	2249	3,06
2	2	1567	4,48	1556	5,96
2	3	950	5,44	910	8,91
3	2	1000	7,97	868	10,72
3	3	996	1,47	1000	2,52
3	4	2384	9,66	2388	15,60
4	2	781	5,10	730	6,72
4	3	607	2,42	659	3,93

Tabela III.1 - Sistema hidráulico 4:4

Como os exemplos da literatura e os das FIRMAS A e B apre- sentam os resultados em unidades inglesas, para uma melhor compara- ção dos dados, o programa foi elaborado para operar com as mesmas unidades. Sendo que facilmente pode se estabelecer uma sub-rotina para converção de unidades.

Seja o sistema representado pela figura III.2. Este sistema foi calculado por B. West⁽¹³⁾ apresentando resultados satisfatórios.

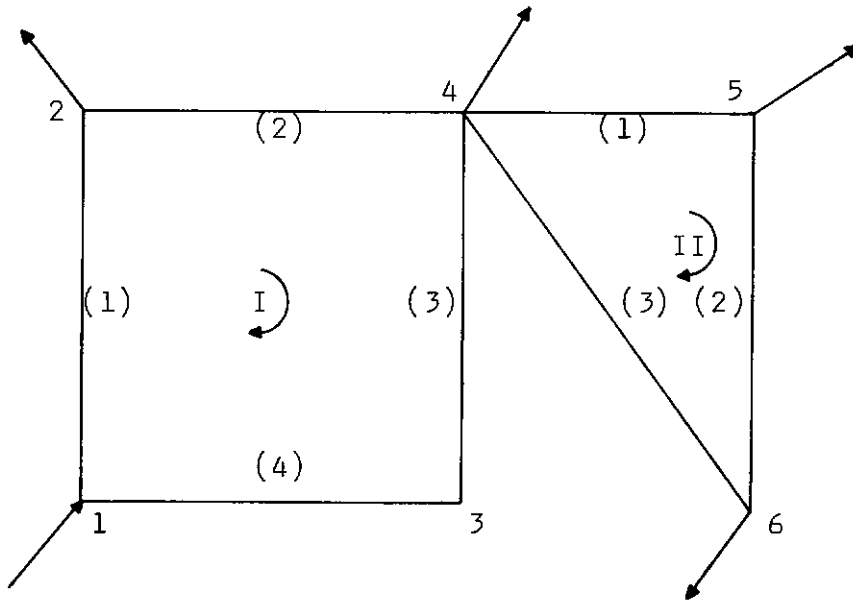


Figura III.2 - Sistema hidráulico 2:3

Os resultados encontrados encontram-se representados na tabela III.2.

ANEL	TUBO	RESULTADOS DO PROGRAMA		DADOS DA LITERATURA (13)	
		VAZÃO (GPM)	ΔP (LBS/IN ²)	VAZÃO (GPM)	ΔP (LBS/IN ²)
1	1	6125	80,7	5934	80,7
1	2	5125	61,1	4934	68,2
1	3	3874	49,5	4065	34,6
1	4	3874	49,5	4065	34,6
2	1	4783	22,1	4764	24,1
2	2	1783	12,5	1764	16,4
2	3	2216	12,5	2235	16,4

Tabela III.2 - Sistema hidráulico 2:3

III.3 - Projetos de sistemas com uma fonte

Foram realizados projetos de três sistemas hidráulicos com uma fonte de alimentação, contendo: o primeiro 2 anéis e 7 tubos, o segundo 6 anéis e 21 tubos, e o terceiro 6 anéis e 21 tubos com elementos secundários, para comparação com algoritmo computacional utilizado no primeiro caso pelo grupo de projetos de uma firma brasileira denominada Firma A, e nos dois últimos casos por algoritmos de projeto existente no mercado e elaborados por outra firma brasileira denominada Firma B. Nos dois primeiros casos, o critério adotado para os programas foram os mesmos, ou seja, não foram consideradas as perdas de carga secundárias. No terceiro caso, foram considerados os comprimentos de tubos somados aos comprimentos equivalentes das perdas de carga secundária em elementos.

Seja então o sistema hidráulico de 2 anéis e 7 tubos, representado pela figura III.3:

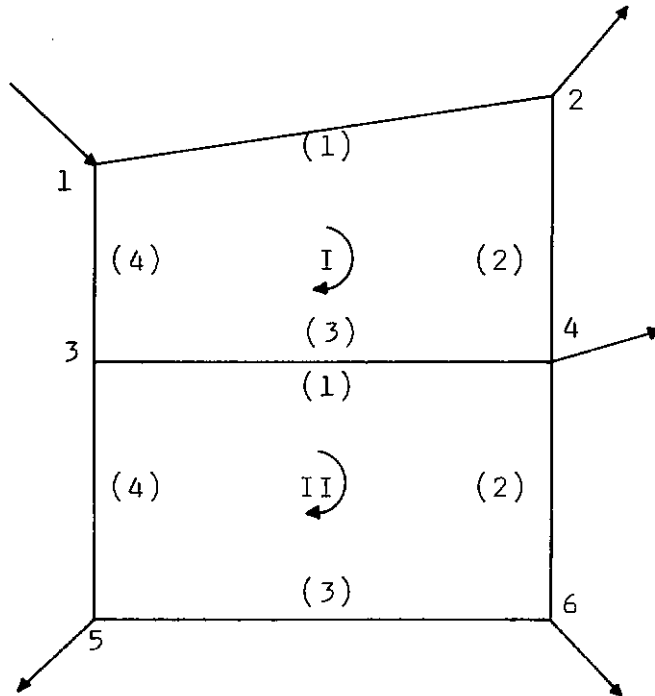


Figura III.3 - Sistema hidráulico 2:4

Neste caso foram obtidos os resultados representados na tabela III.3.

ANEL	TUBO	RESULTADOS DO PROGRAMA		DADOS DA FIRMA (A)	
		VAZÃO (GPM)	P.DE CARGA (FT)	VAZÃO (GPM)	P.DE CARGA (FT)
1	1	1476	6,70	1473	6,70
1	2	1036	2,58	1033	2,56
1	3	1505	4,20	1501	4,20
1	4	2926	5,00	2929	5,02
2	2	1221	1,13	1214	1,11
2	3	540	1,52	547	1,54
2	4	1420	3,76	1427	3,77

Tabela III.3 - Sistema hidráulico 2:4

Consideremos agora o sistema hidráulico de 6 anéis e 21 tubos, representado na figura III.4, sem os elementos secundários. Os resultados obtidos estão representados na tabela III.4.

		RESULTADOS DO PROGRAMA		DADOS DA FIRMA (B)	
ANEL	TUBO	VAZÃO (GPM)	P.DE CARGA(FT)	VAZÃO (GPM)	P.DE CARGA(FT)
1	1	27938	12,09	27711	11,72
1	2	27938	27,78	27711	25,74
1	3	9156	13,58	9063	13,44
1	4	13487	26,35	13415	25,25
1	5	42499	27,09	42727	25,65
2	1	18781	13,64	18647	13,26
2	2	18781	13,85	18647	13,46
2	3	18781	46,21	18647	42,45
2	4	9795	60,11	9764	55,72
3	2	12848	115,61	12714	101,89
3	3	1917	0,61	1617	0,50
3	4	29011	140,11	29312	127,64
4	2	10968	83,09	10802	74,31
4	3	6639	28,01	6749	28,14
5	2	4292	31,89	4348	31,92
5	3	8917	10,08	8917	10,01
5	4	8917	10,57	8917	10,69
5	5	8917	10,60	8917	10,72
6	2	877	1,40	821	1,36
6	3	877	1,26	821	1,22
6	4	877	1,24	821	1,20

Tabela III.4 - Sistema hidráulico 6:5

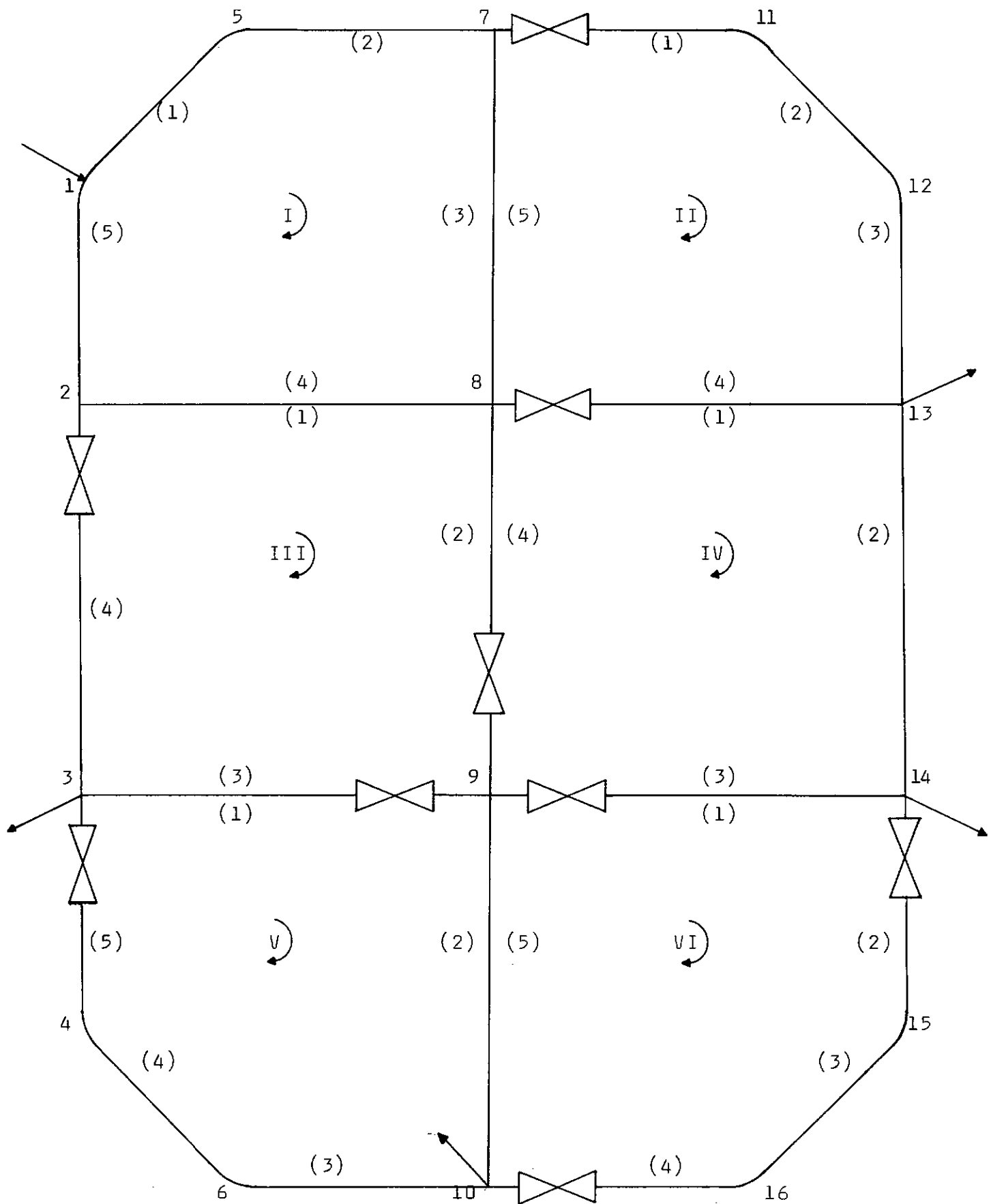


Figura III.4 - Sistema hidráulico 6:5

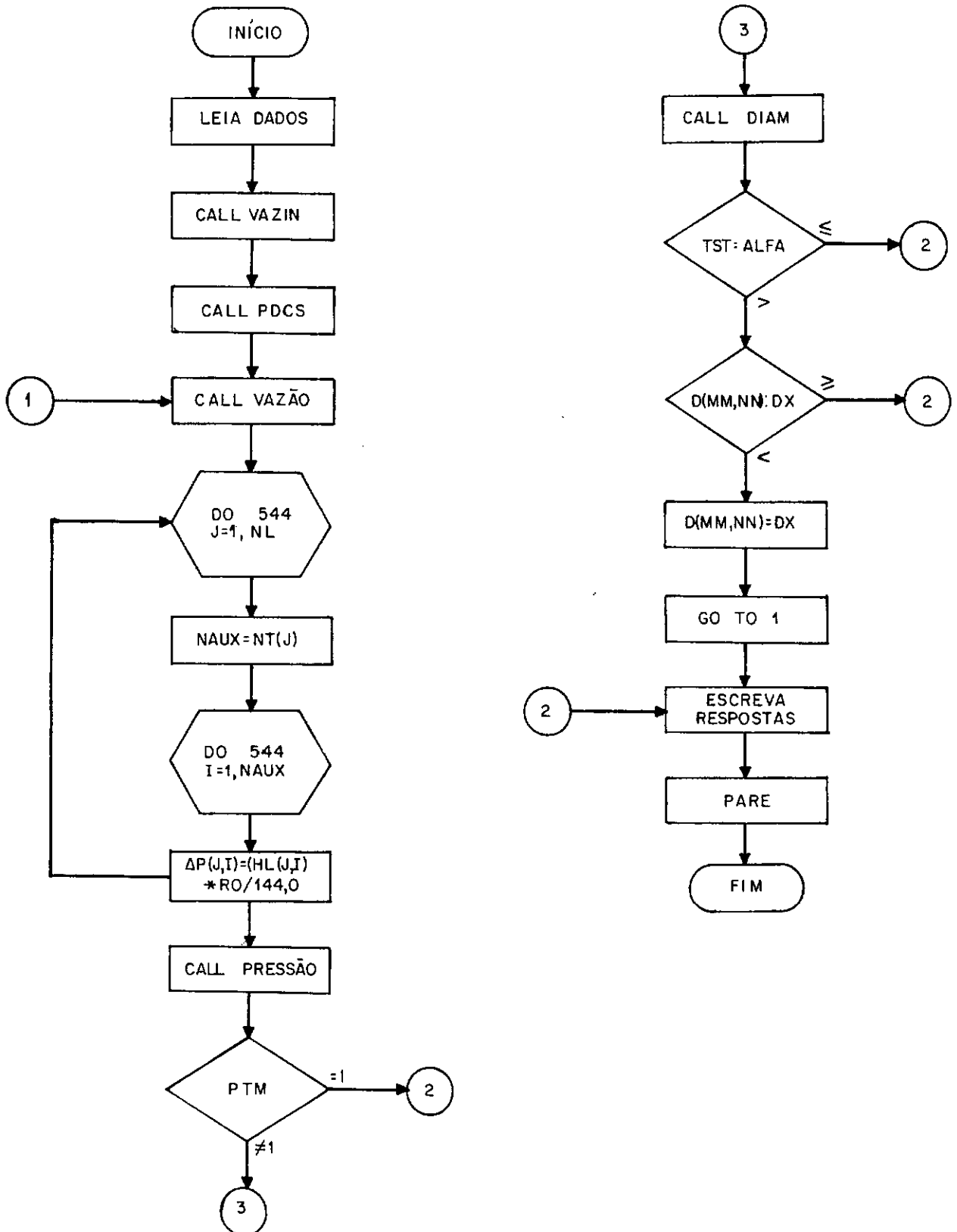
A verificação do comportamento do algoritmo conforme a colocação de elementos secundários pode ser analisada pelo sistema representado pela figura III.4. Nesse caso foi utilizado para confronto um programa computacional existente no mercado, desenvolvido pela Firma B, no qual os elementos secundários foram introduzidos através do comprimento equivalente. Logo, os resultados obtidos para esse caso estão representados na tabela III.5.

		RESULTADOS DO PROGRAMA		PROGRAMA DA FIRMA (B)	
ANEL	TUBO	VAZÃO (GPM)	P.DE CARGA (FT)	VAZÃO (GPM)	P.DE CARGA (FT)
1	1	27947	10,93	27672	10,56
1	2	27947	32,22	27672	28,50
1	3	9529	18,78	9279	15,82
1	4	12466	29,93	12635	26,06
1	5	42490	32,02	42766	28,82
2	1	18416	13,35	18393	12,92
2	2	18416	14,18	18393	13,39
2	3	18419	46,45	18393	42,01
2	4	9357	55,19	9457	52,50
3	2	12638	97,73	12457	95,08
3	3	970	0,22	820	0,17
3	4	30024	125,37	30132	121,33
4	2	10166	86,166	10240	73,82
4	3	7179	32,78	7143	31,24
5	2	4489	34,82	4494	33,92
5	3	8982	13,86	8940	11,90
5	4	8982	10,51	8940	11,07
5	5	8982	10,21	8940	10,77
6	2	616	0,80	653	1,10
6	3	616	0,64	653	0,81
6	4	616	0,62	653	0,76

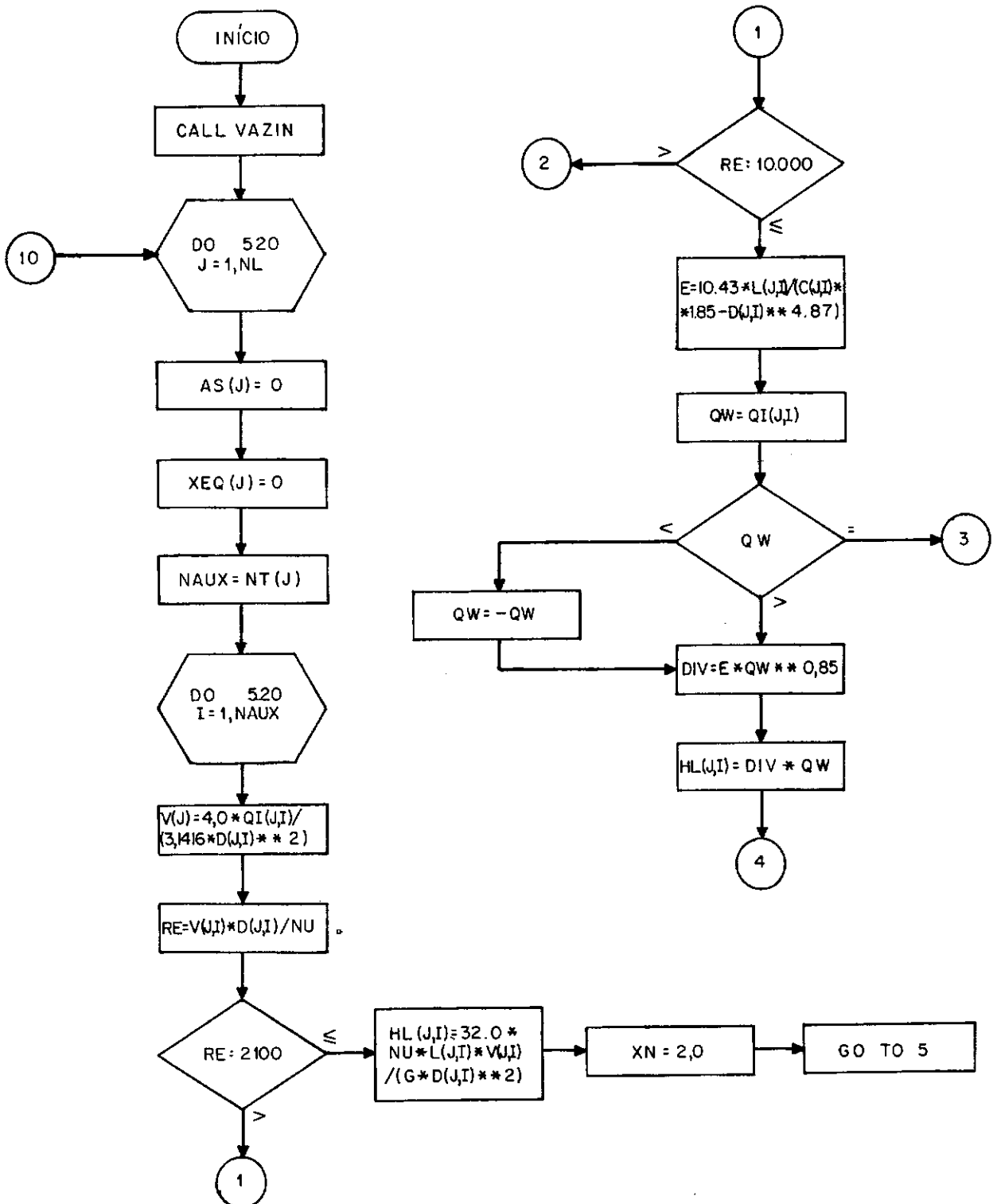
Tabela III.5 - Sistema hidráulico 6:5

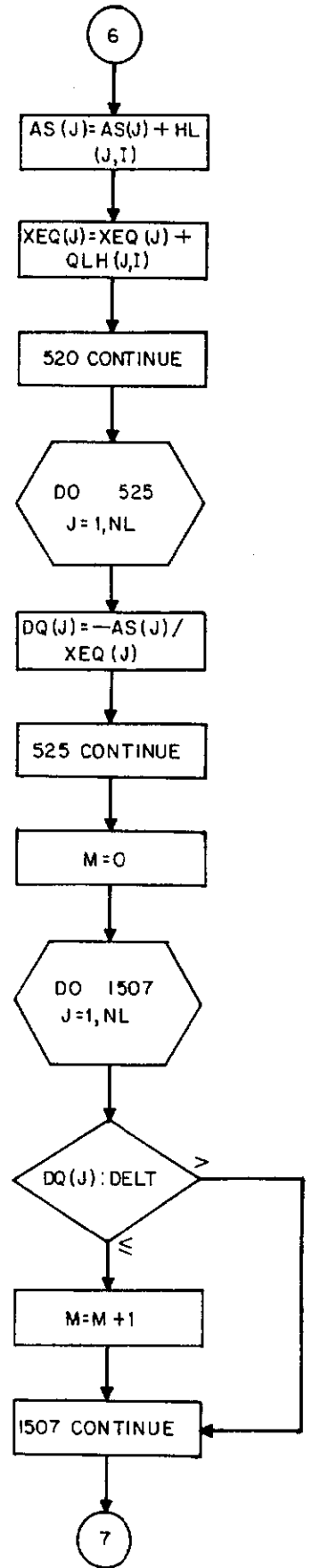
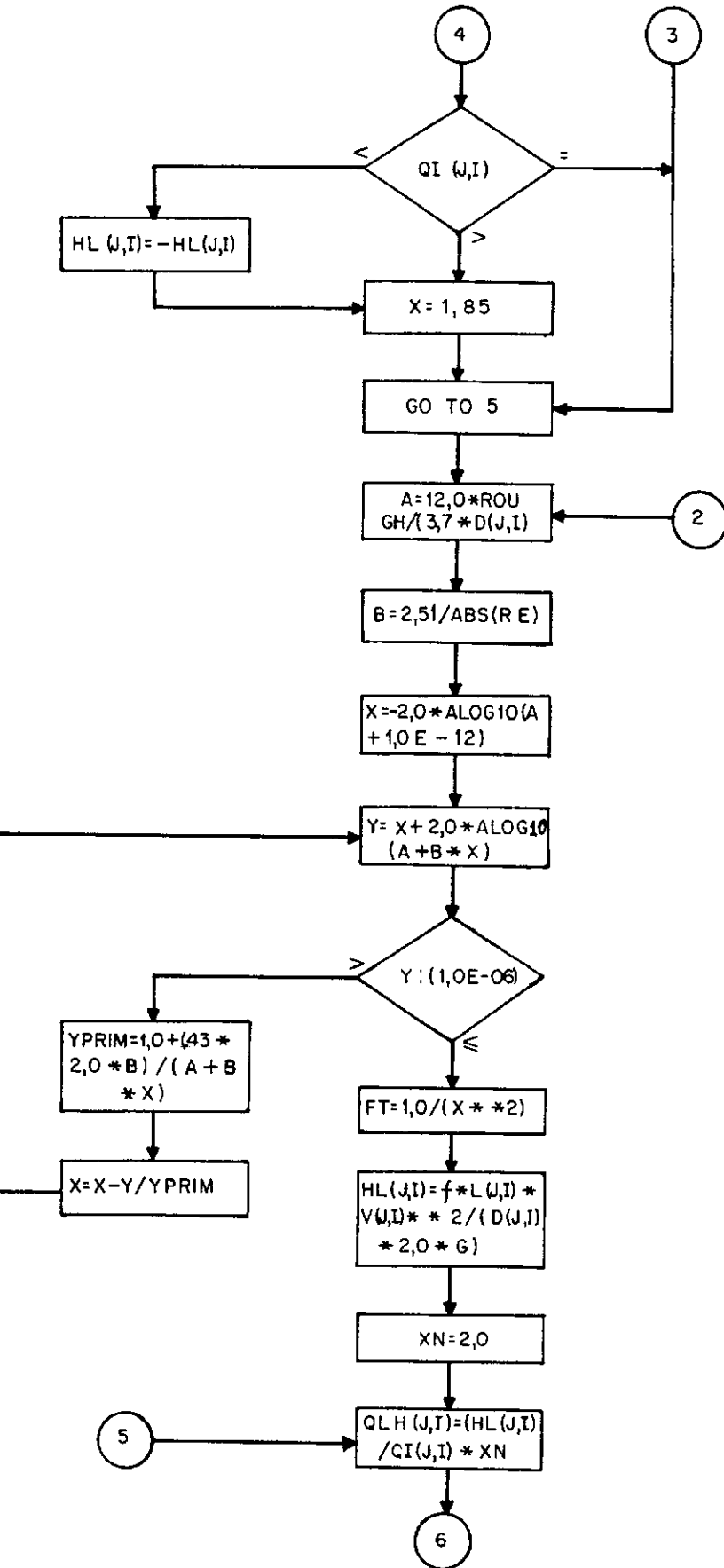
III.4 - FLUXUOGRAMA

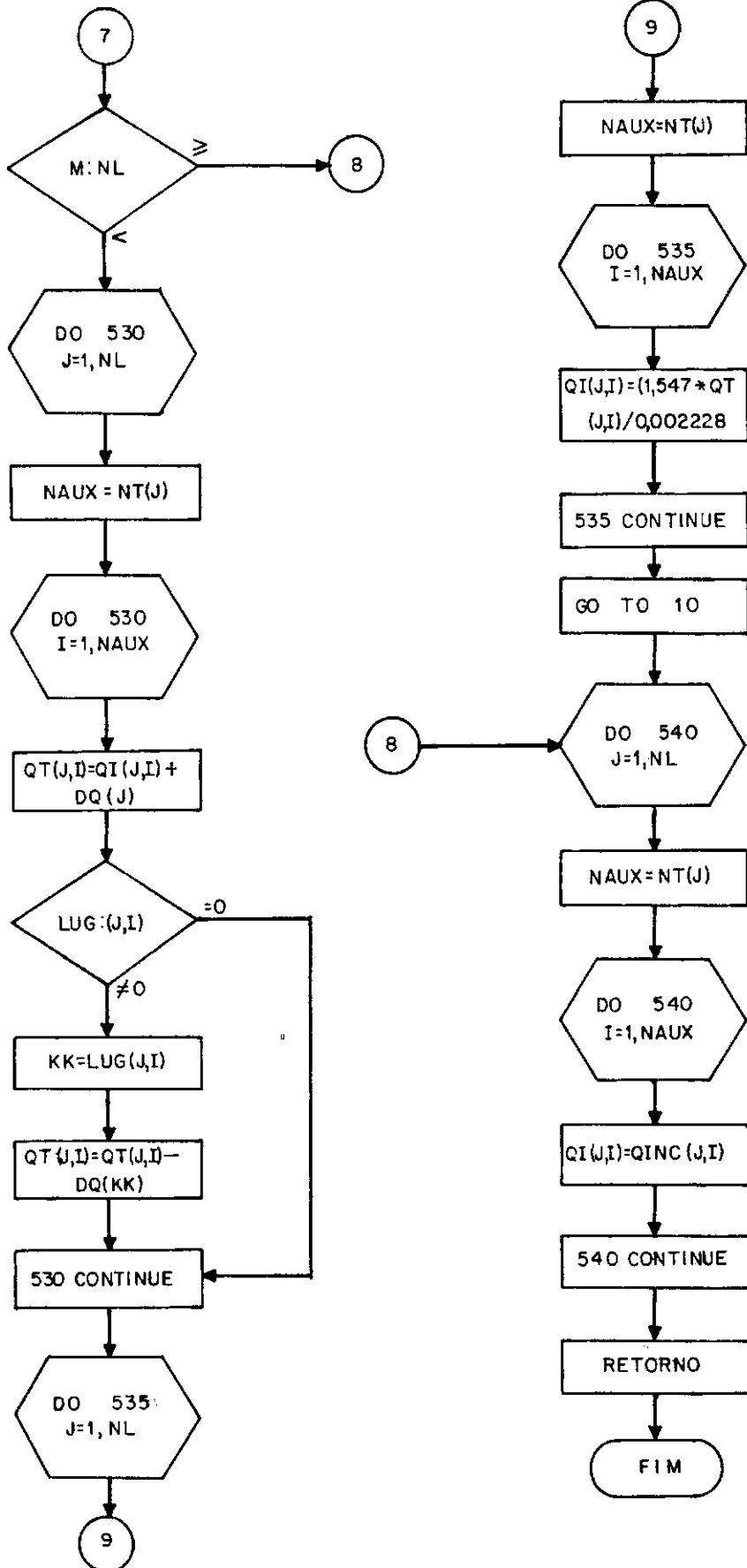
PROGRAMA PRINCIPAL



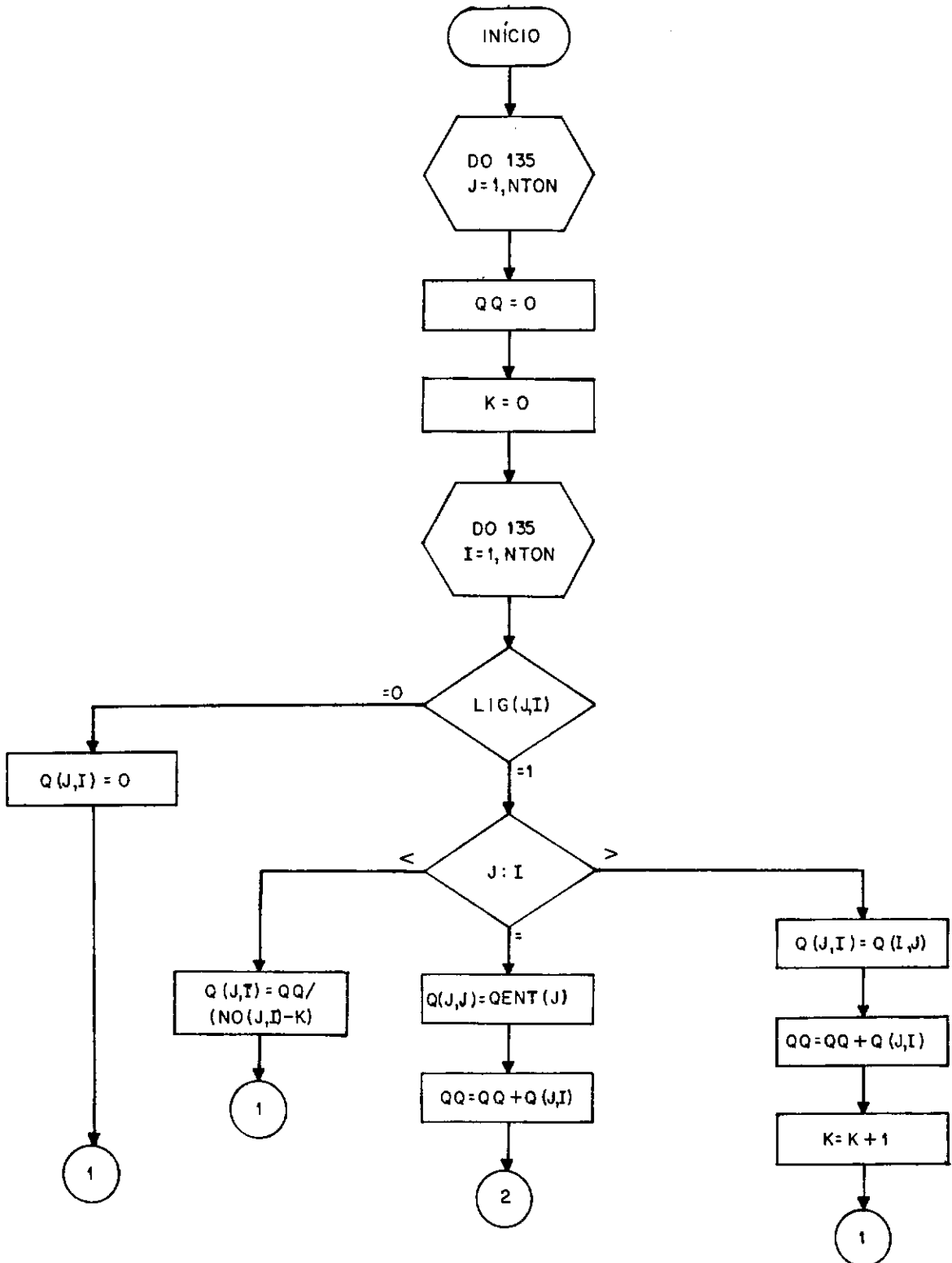
SUBROUTINA VAZÃO
DETERMINA PERDA DE CARGA E A DISTRIBUIÇÃO
DA VAZÃO AO LONGO DO SISTEMA

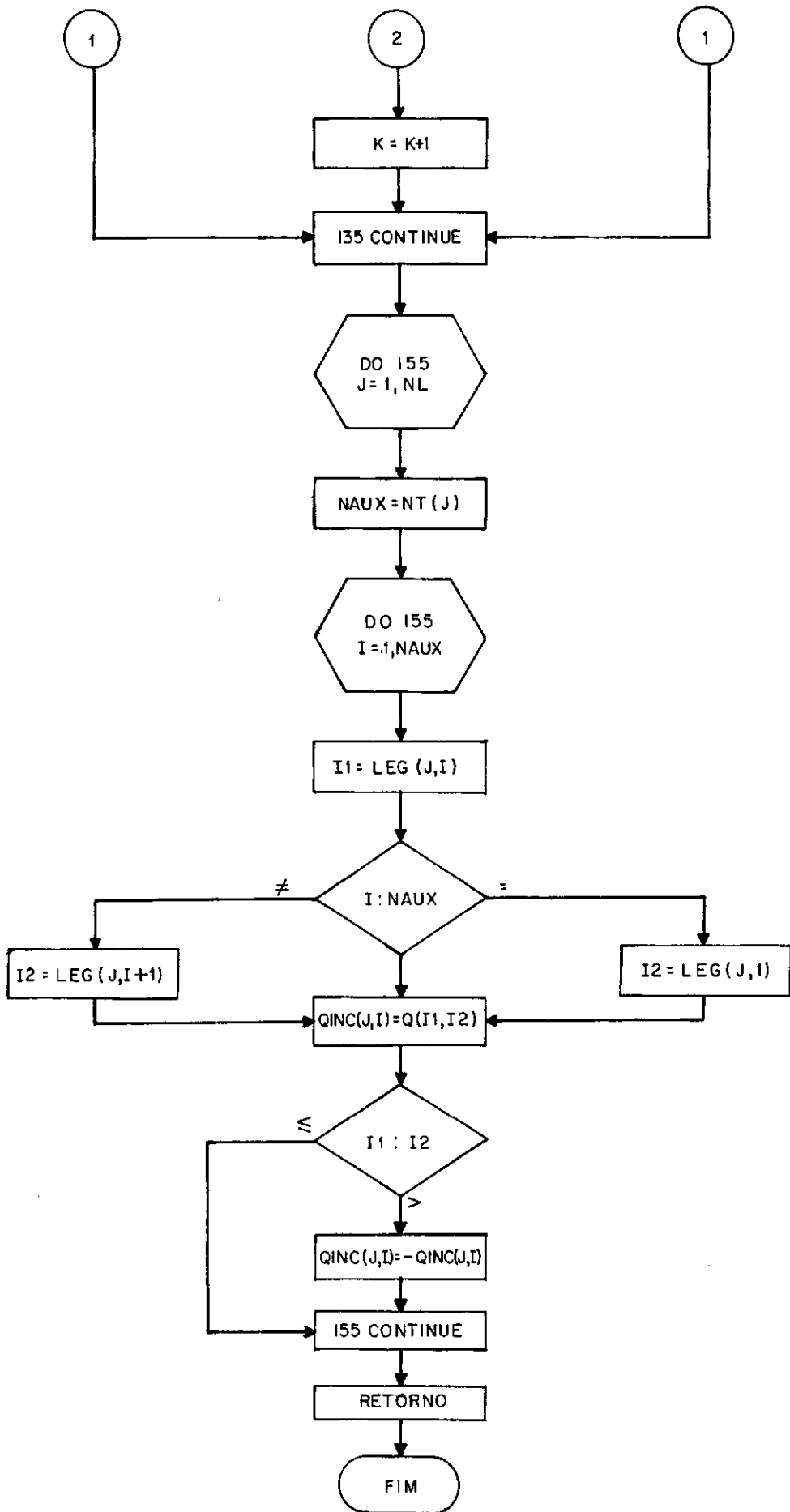






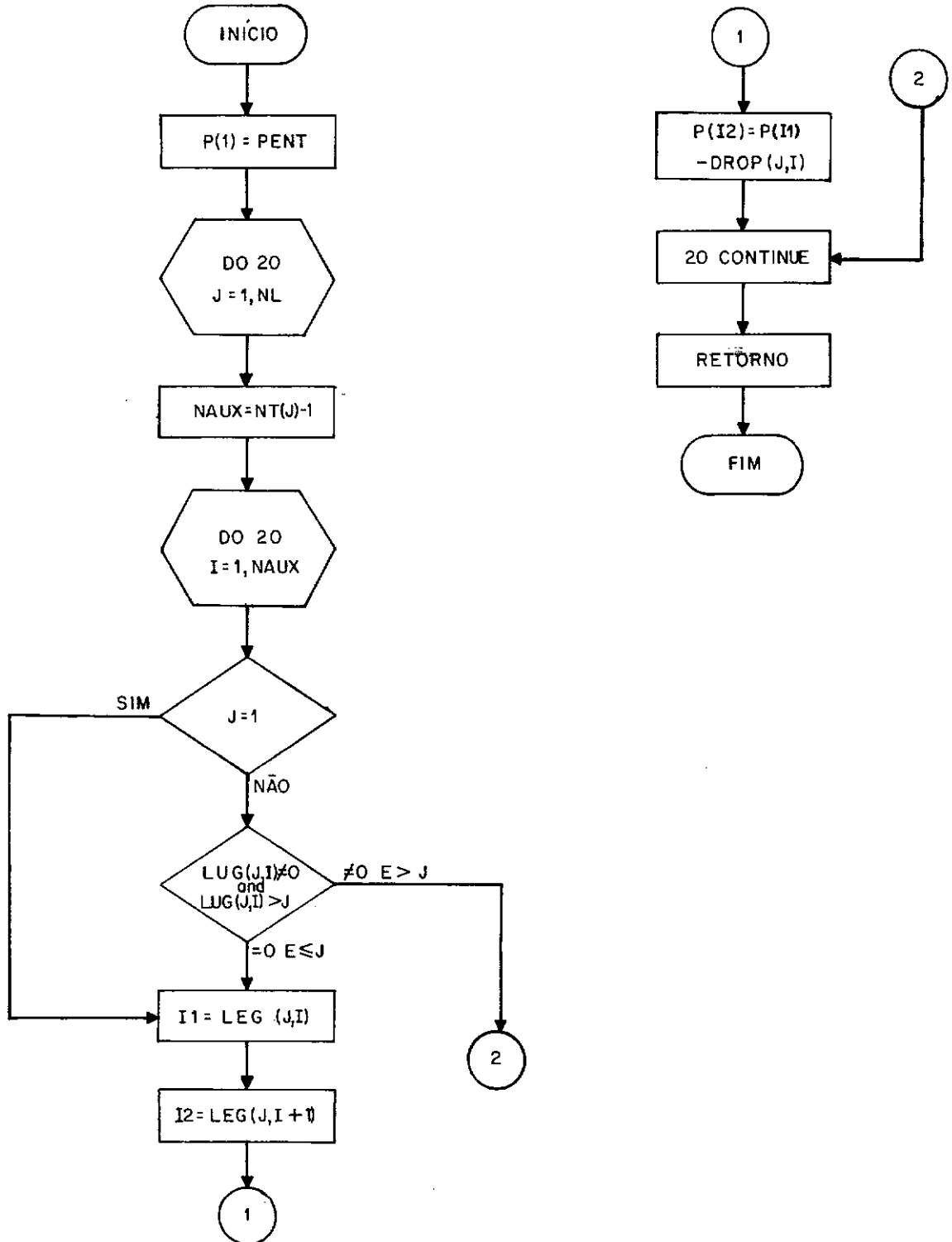
SUBROUTINE VAZIN
DETERMINA A DISTRIBUIÇÃO DA VAZÃO AO LONGO
DO SISTEMA, PARTINDO-SE DA VAZÃO DE ENTRADA



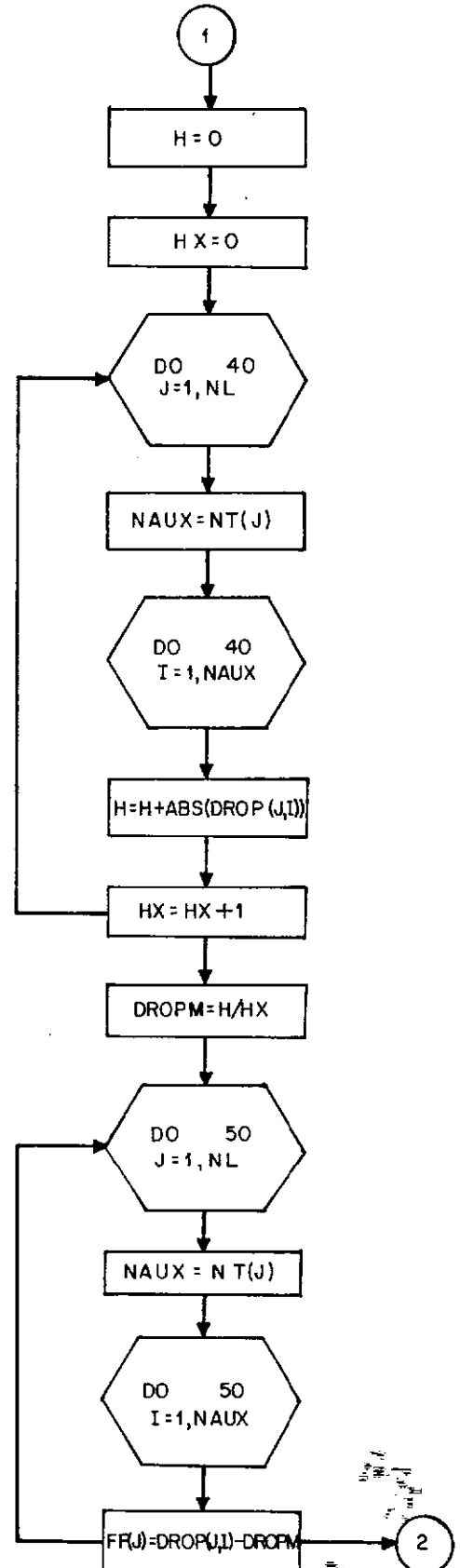
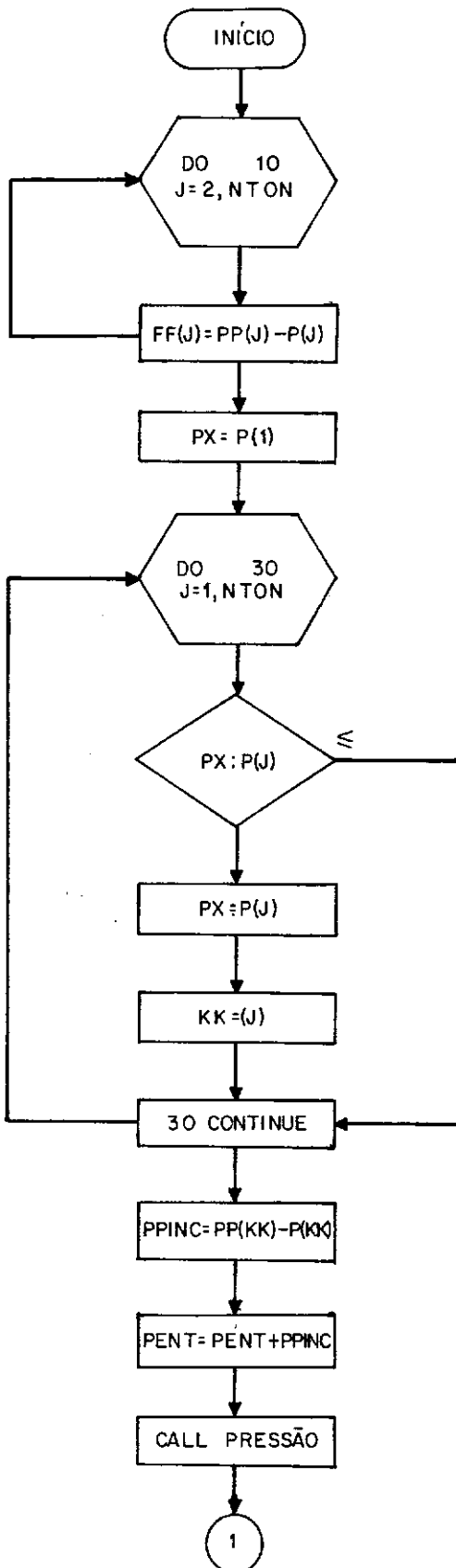


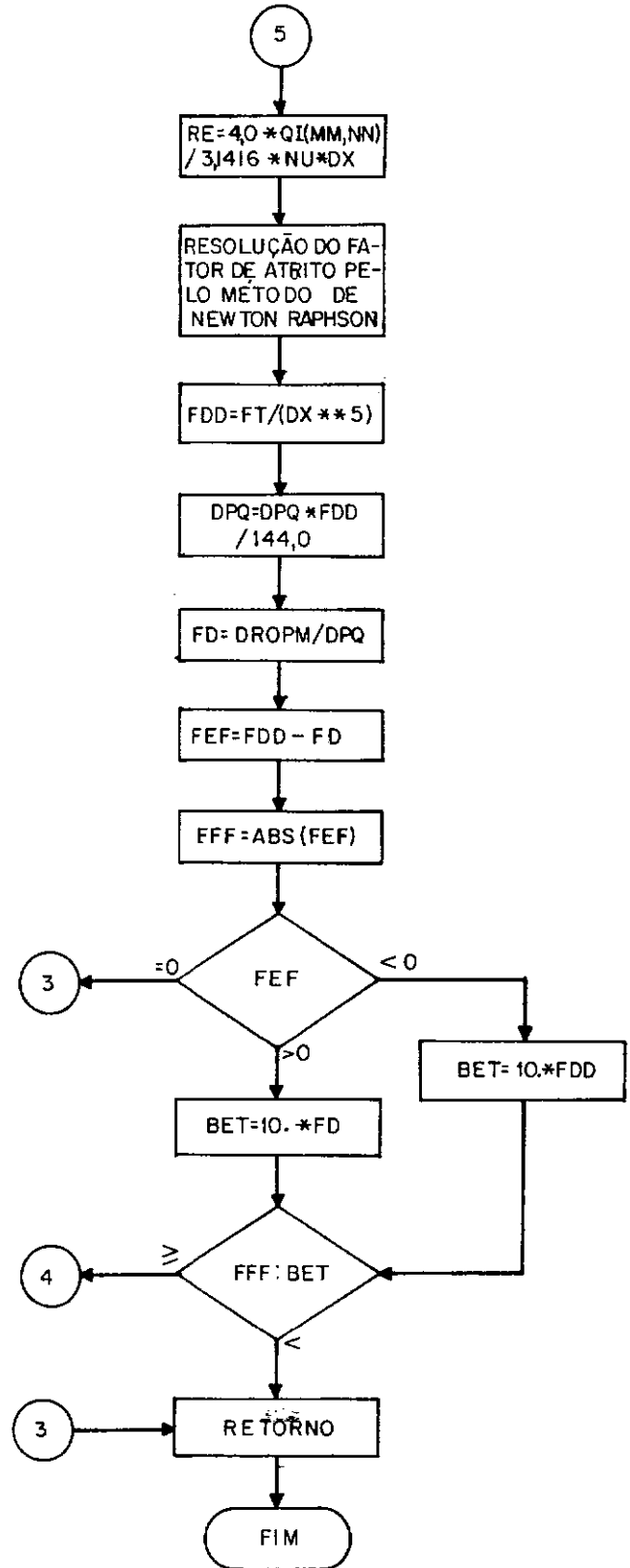
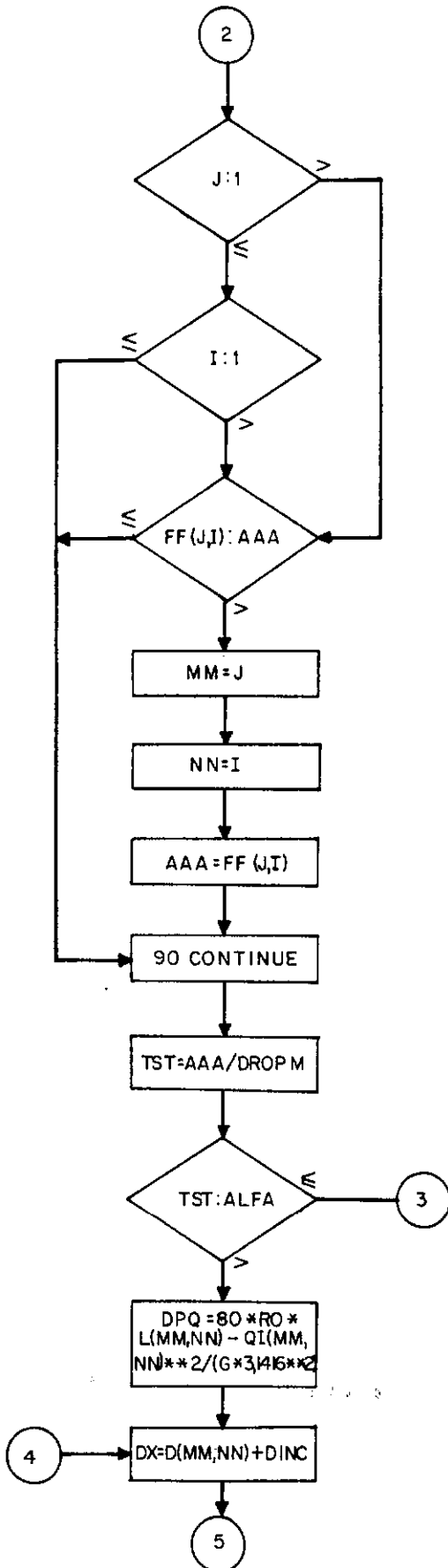
SUBROUTINE PRESSAO

CALCULA A PRESSÃO NA SAÍDA DOS NÓS, CONHECENDO-SE
A PRESSÃO NA ENTRADA DO SISTEMA



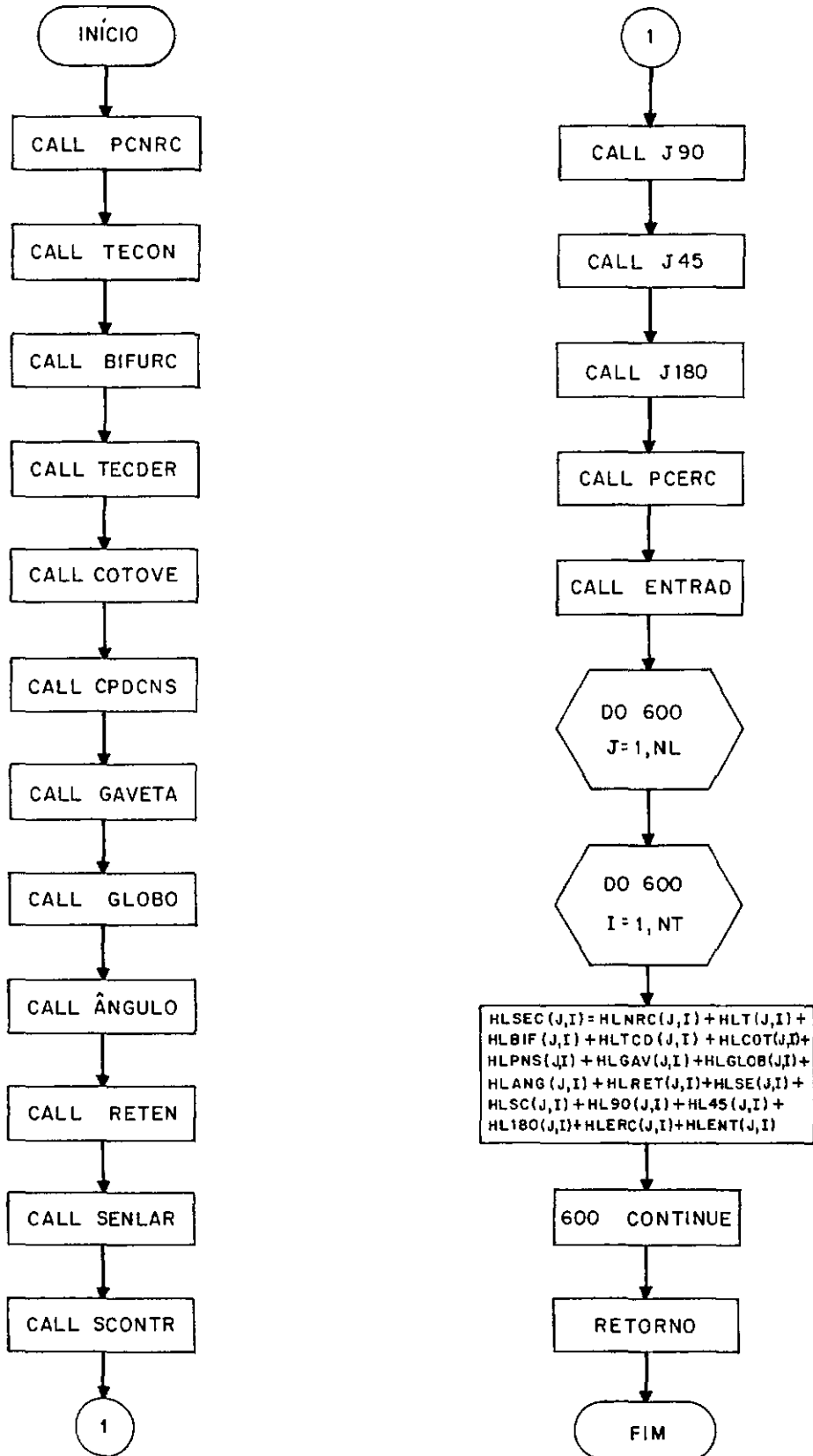
SUBROTINA DIAM DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO ÓTIMO





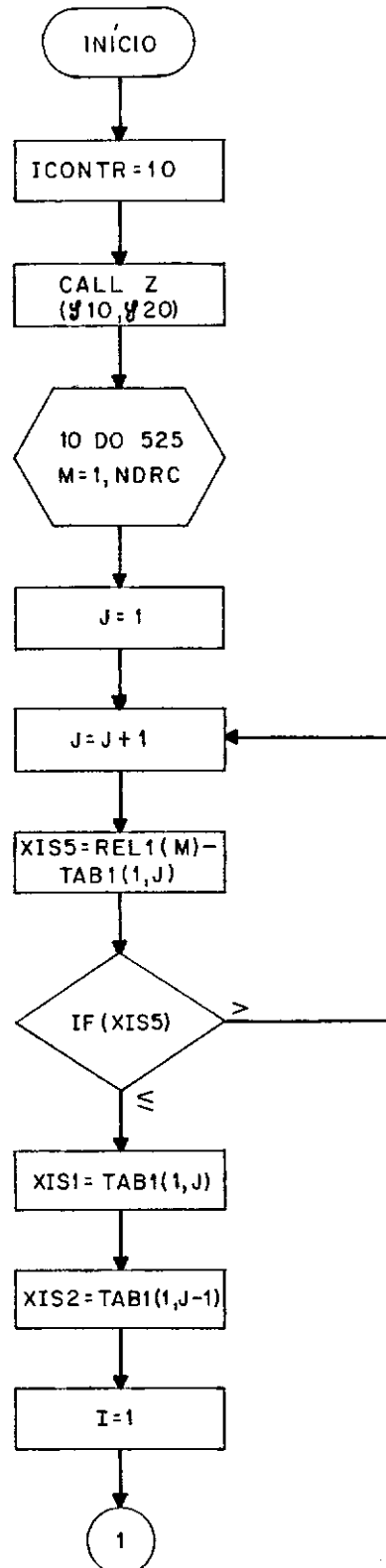
SUBROTINA PDCS

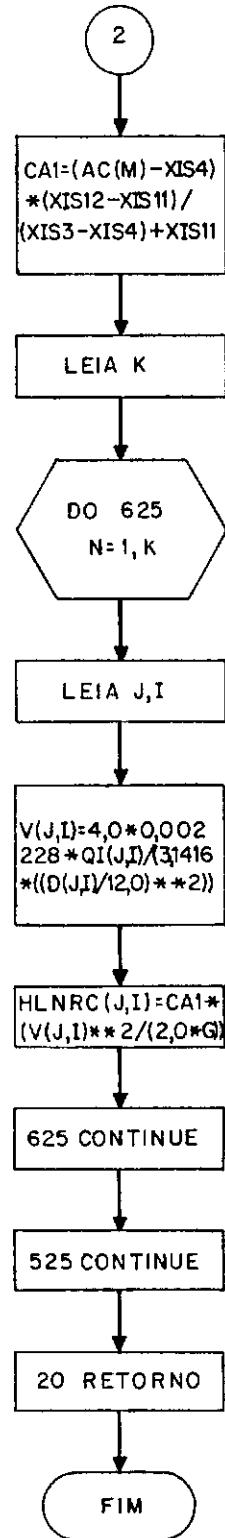
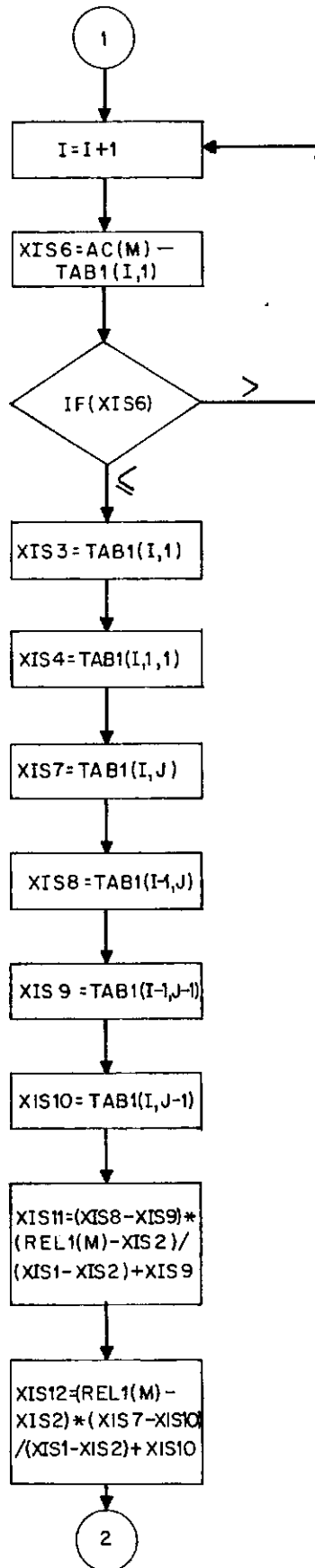
PERDA DE CARGA SECUNDÁRIA DOS ELEMENTOS EM CADA TUBO



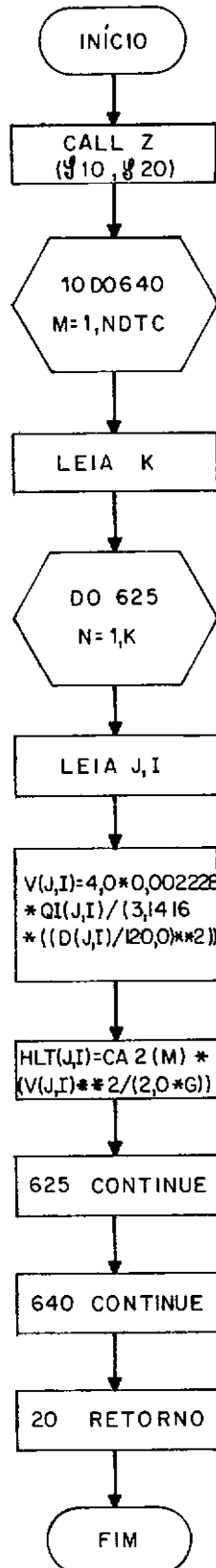
SUBROTINA PCNRC

PERDA DE CARGA EM REDUÇÃO CONCÊNTRICA COM ALARGAMENTO GRADUAL

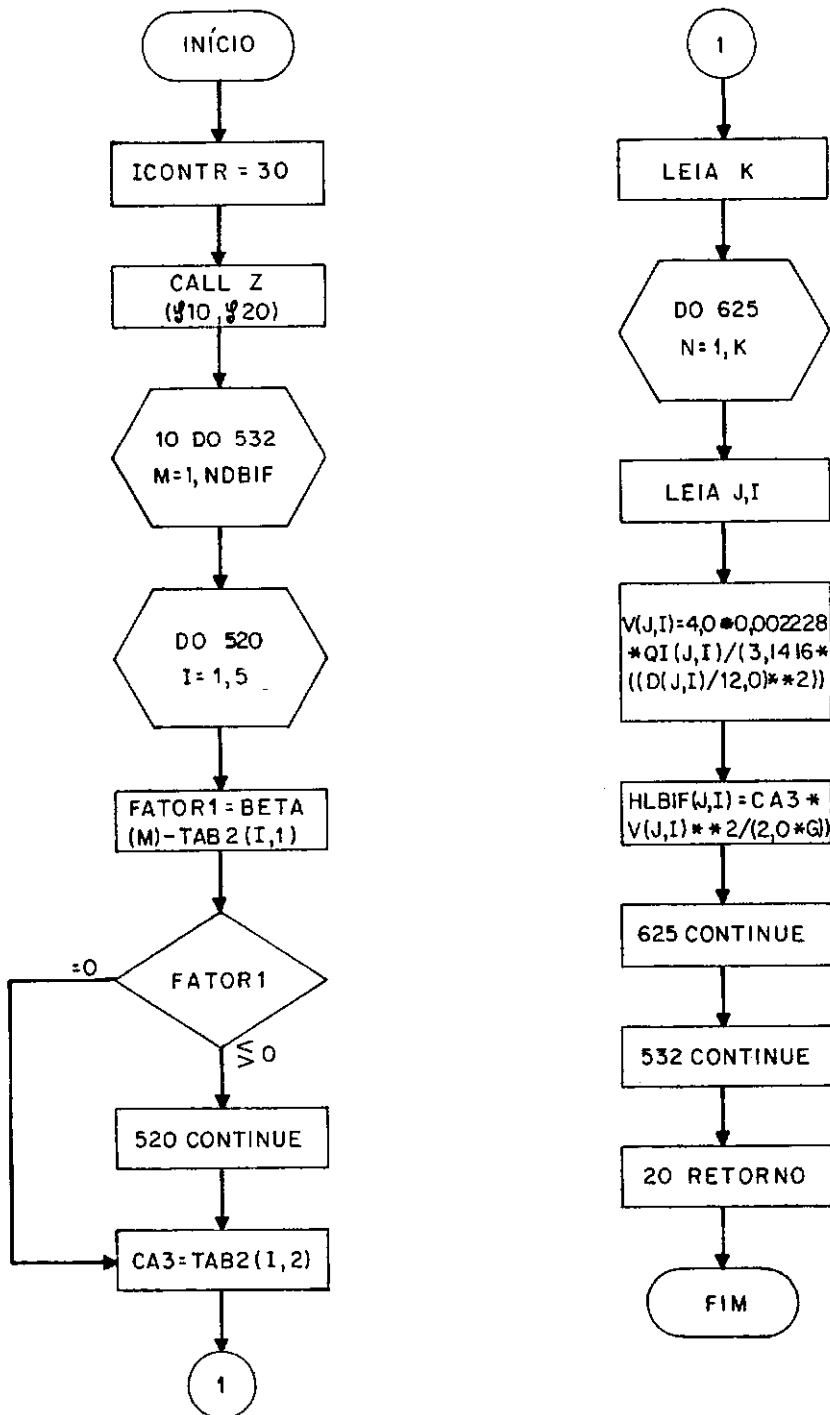




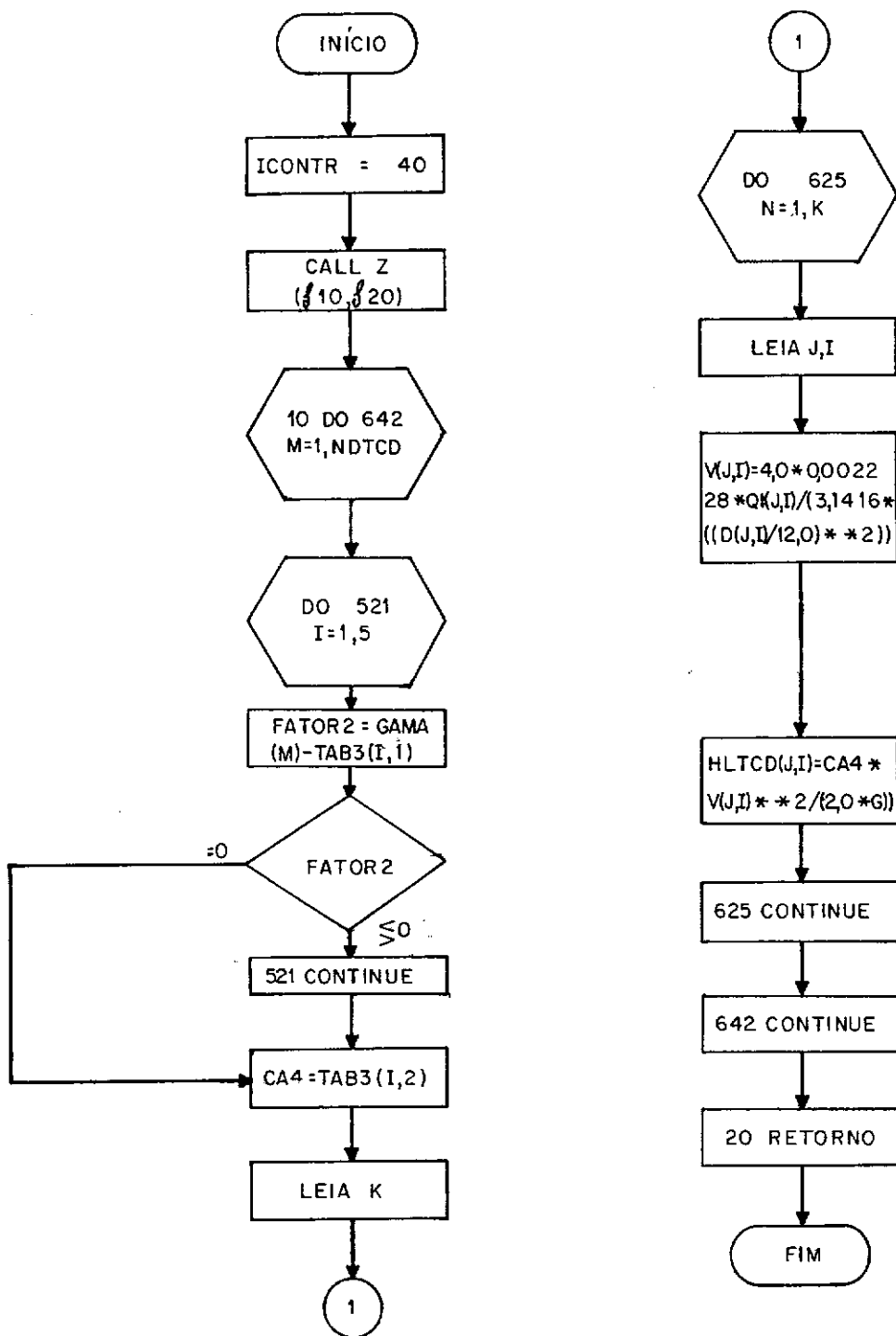
SUBROTINA TECON
PERDA DE CARGA EM BIFURCAÇÃO EM TÊ



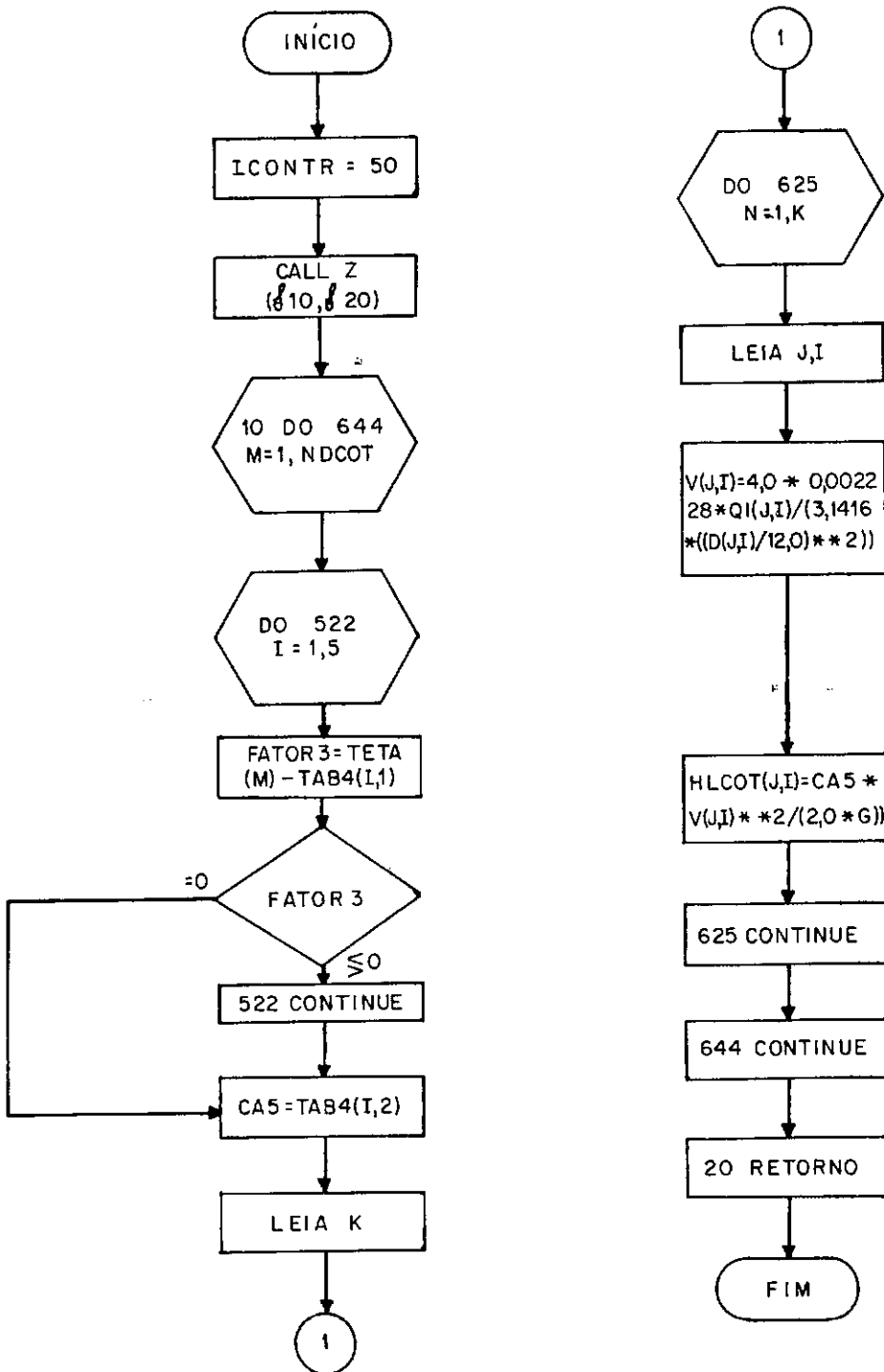
SUBROTINA BIFURC
PERDA DE CARGA EM BIFURCAÇÃO EM ÂNGULO



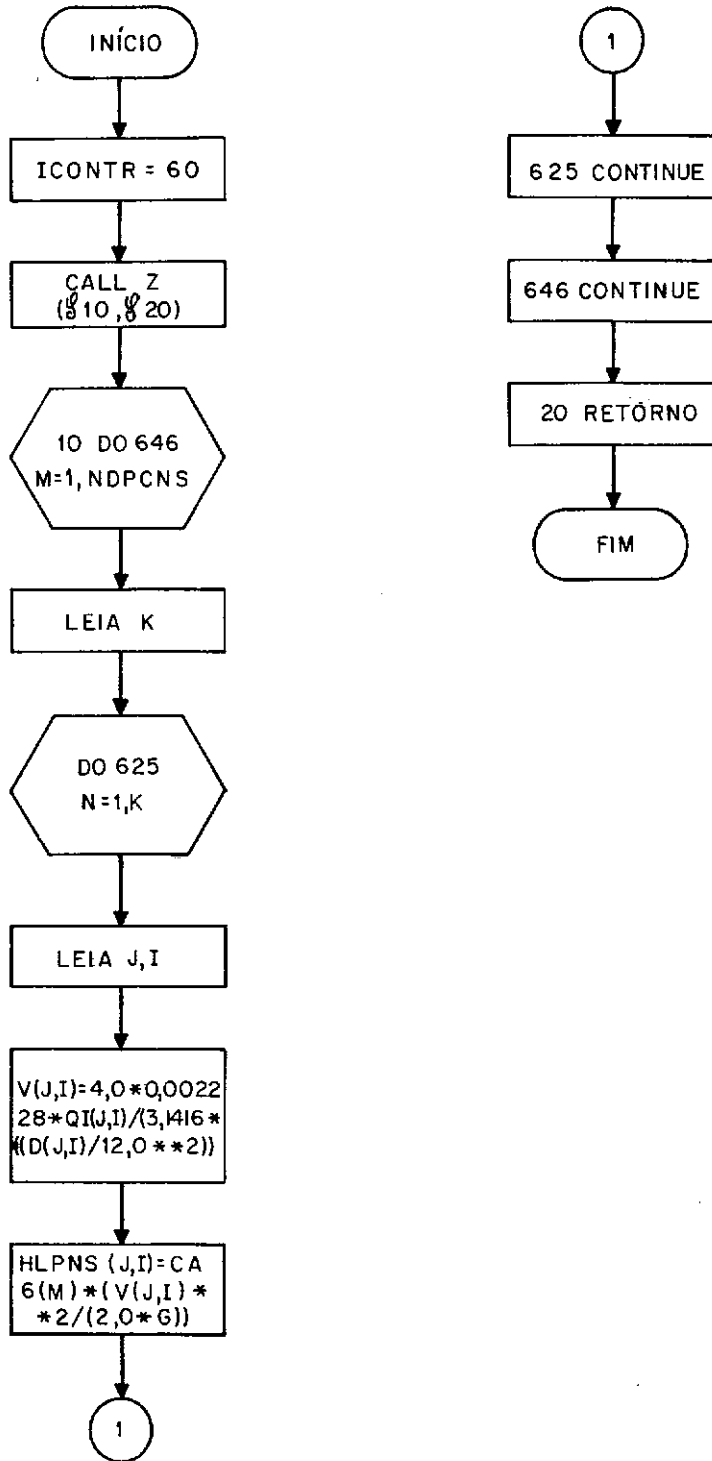
SUBROTINA TECDER
PERDA DE CARGA EM DERIVAÇÃO ANGULAR



SUBROTINA COTOVE
PERDA DE CARGA EM COTOVELOS

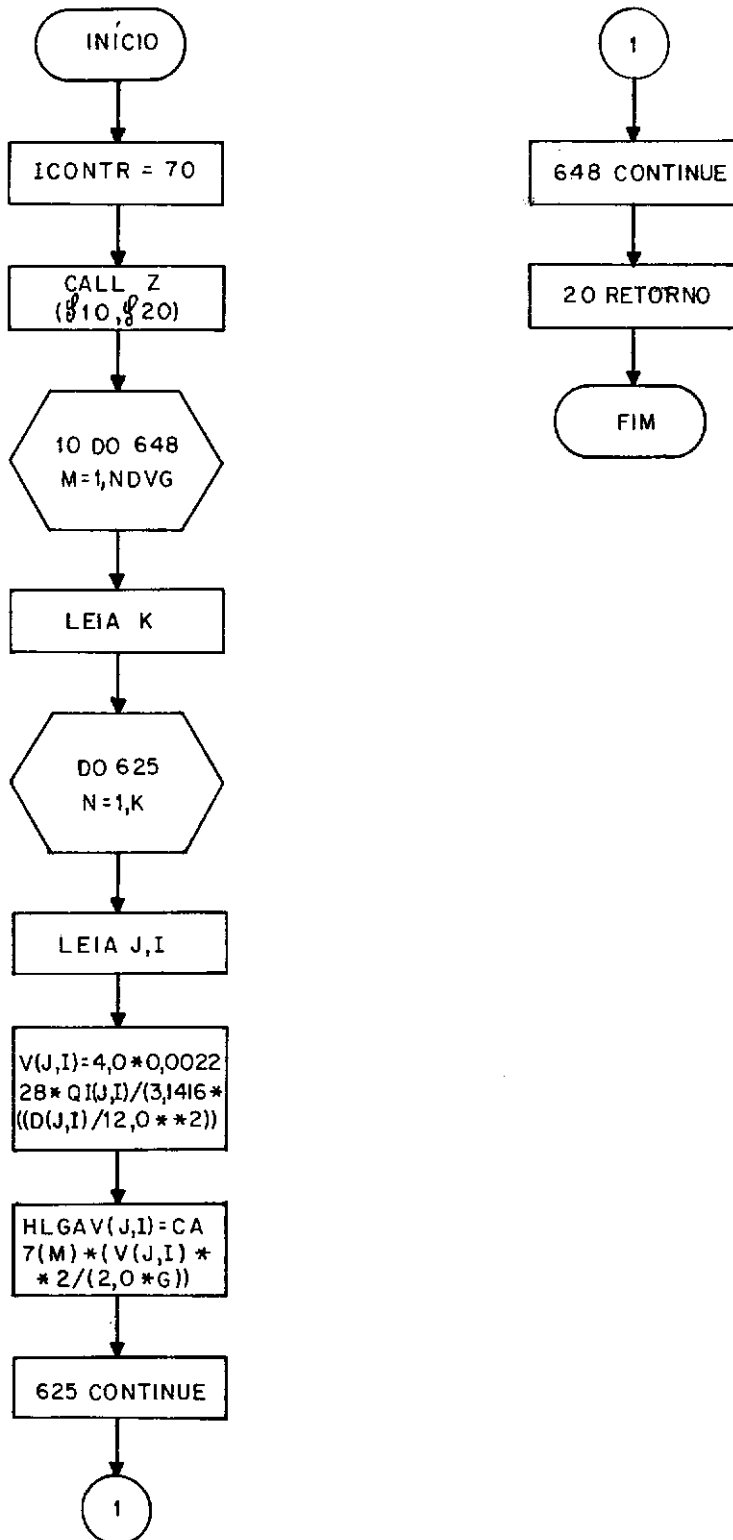


SUBROTINA CPDCNS
PERDA DE CARGA NA SAIDA



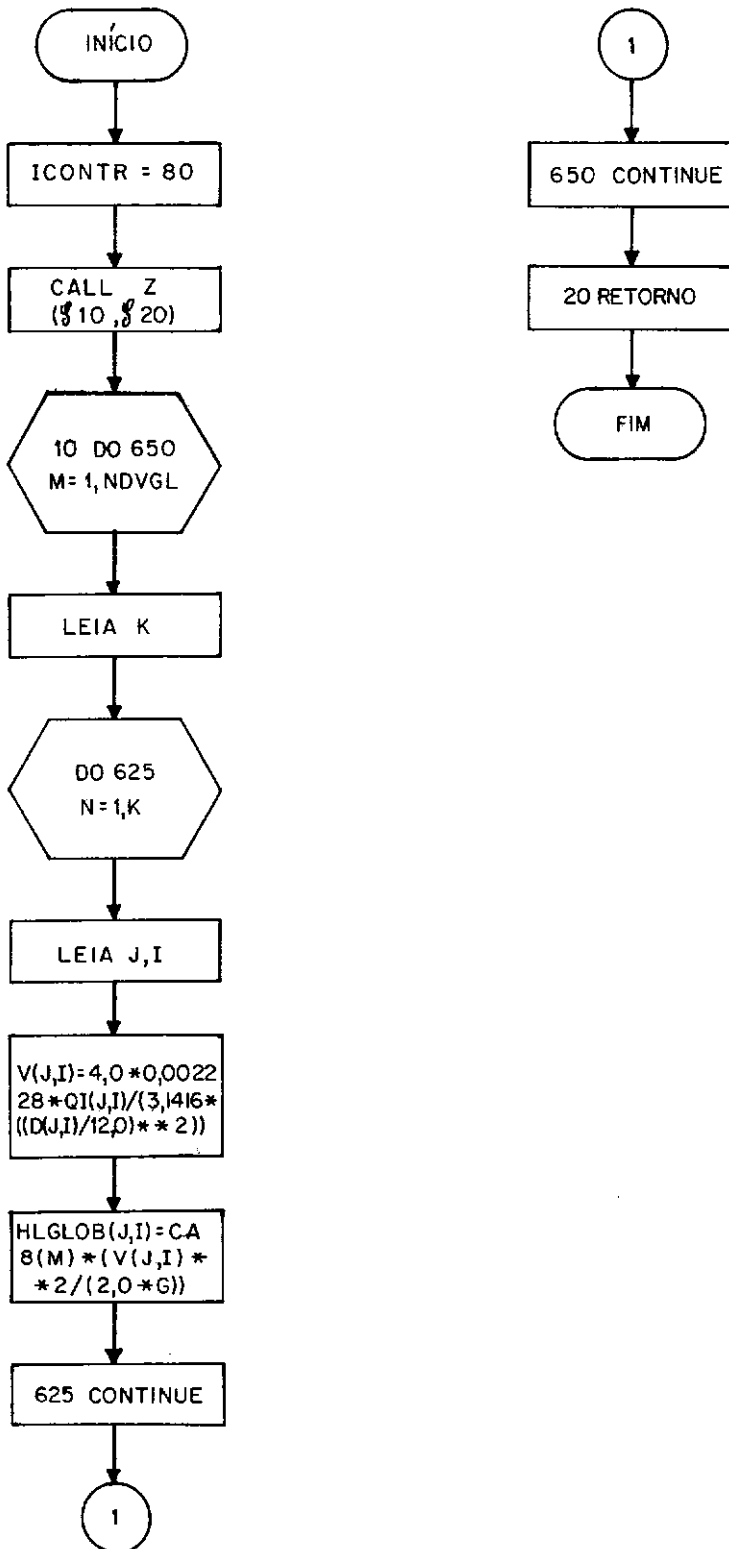
SUBROTINA GAVETA

PERDA DE CARGA EM VÁLVULAS GAVETA COMPLETAMENTE ABERTAS



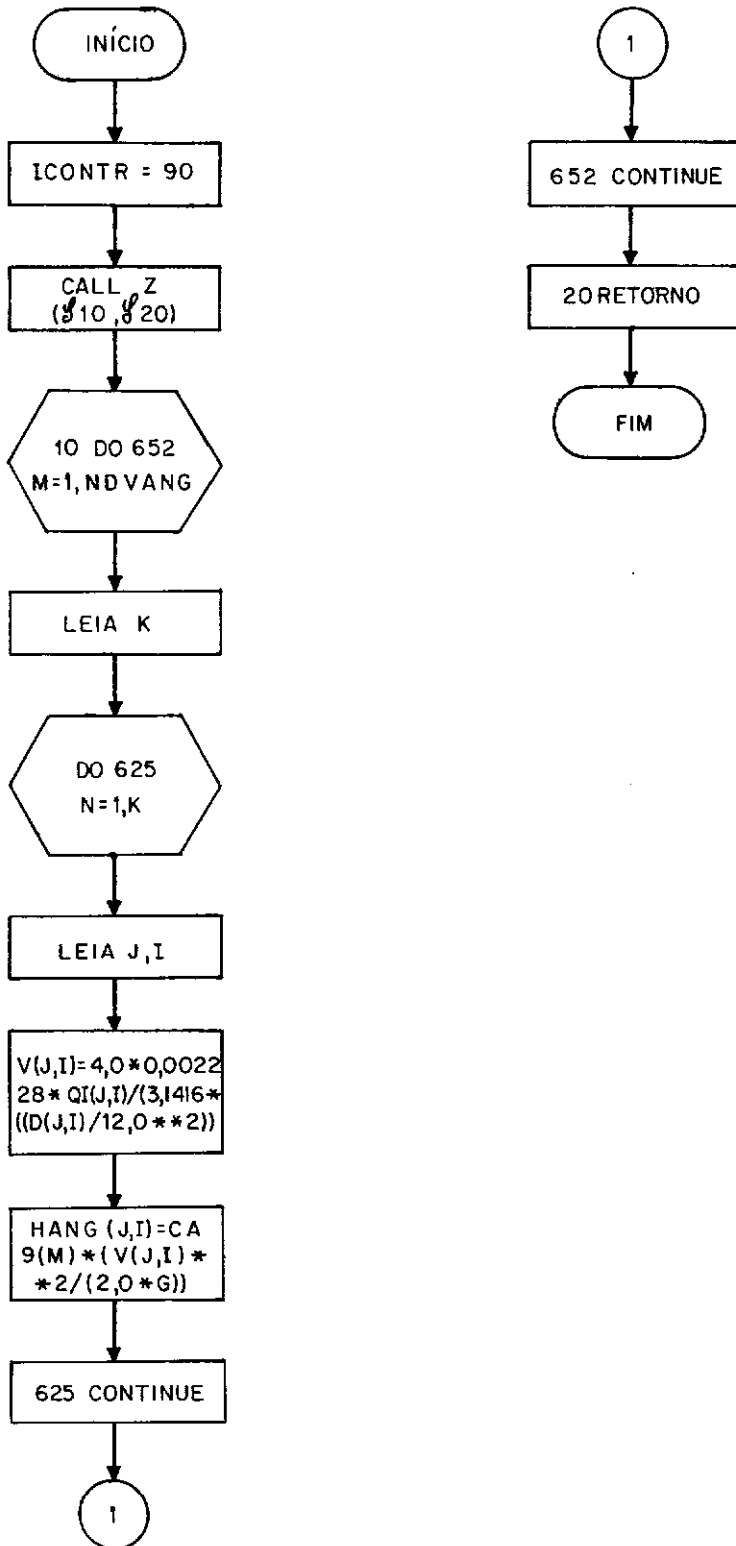
SUBROTINA GLOBO

PERDA DE CARGA EM VÁLVULAS GLOBO COMPLETAMENTE ABERTAS



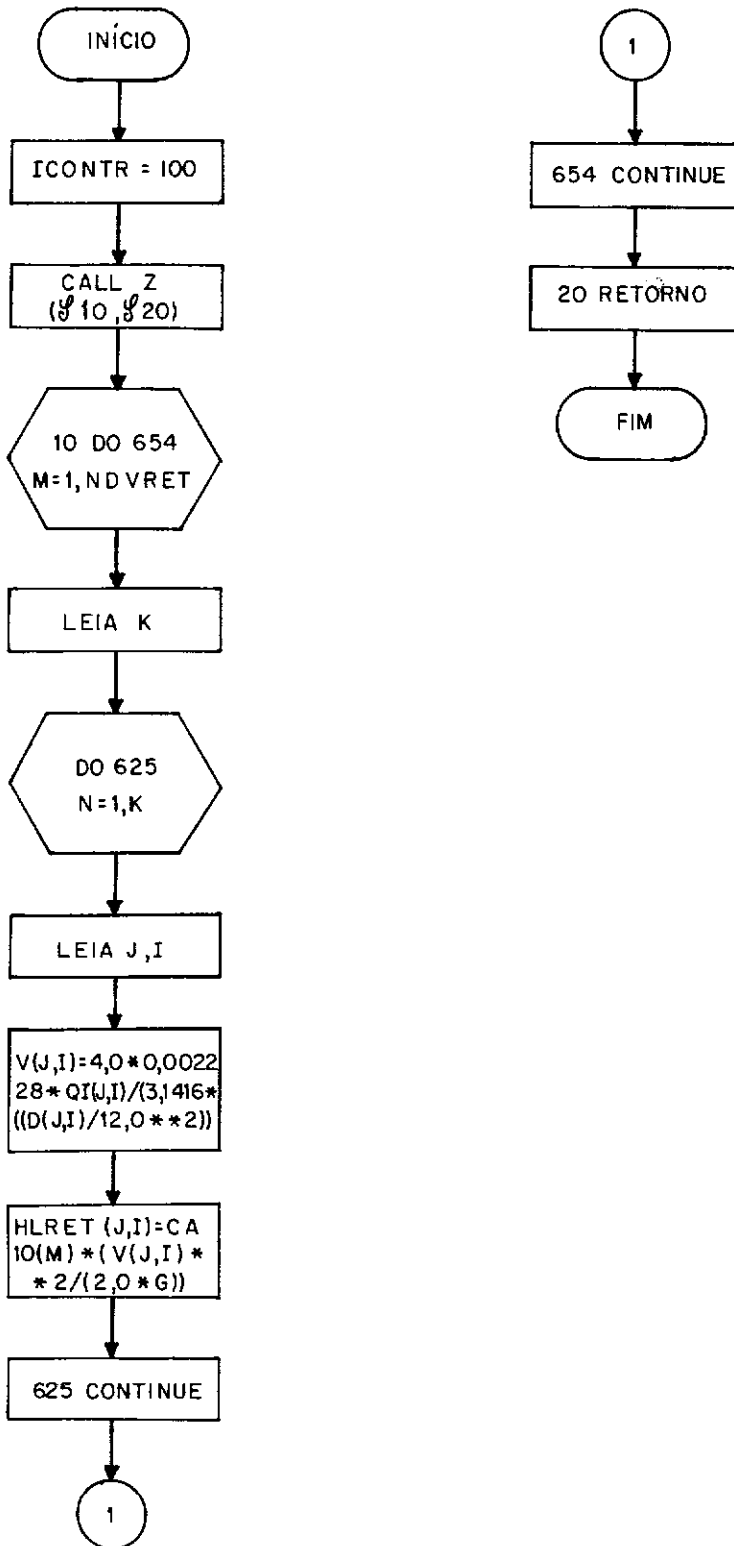
SUBROTINA ÂNGULO

PERDA DE CARGA EM VÁLVULAS ANGULAR COMPLETAMENTE ABERTAS

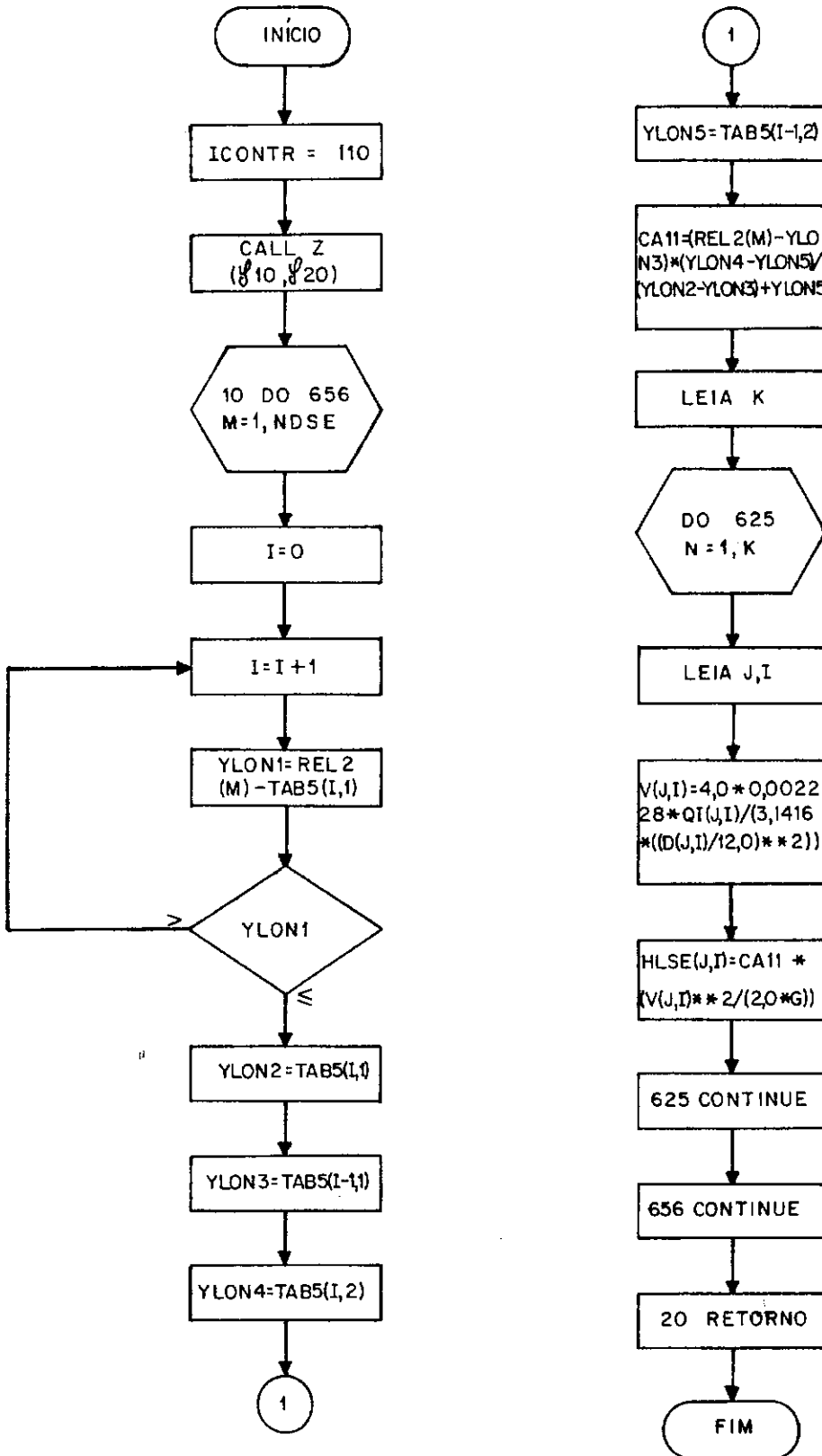


SUBROTINA RETEN

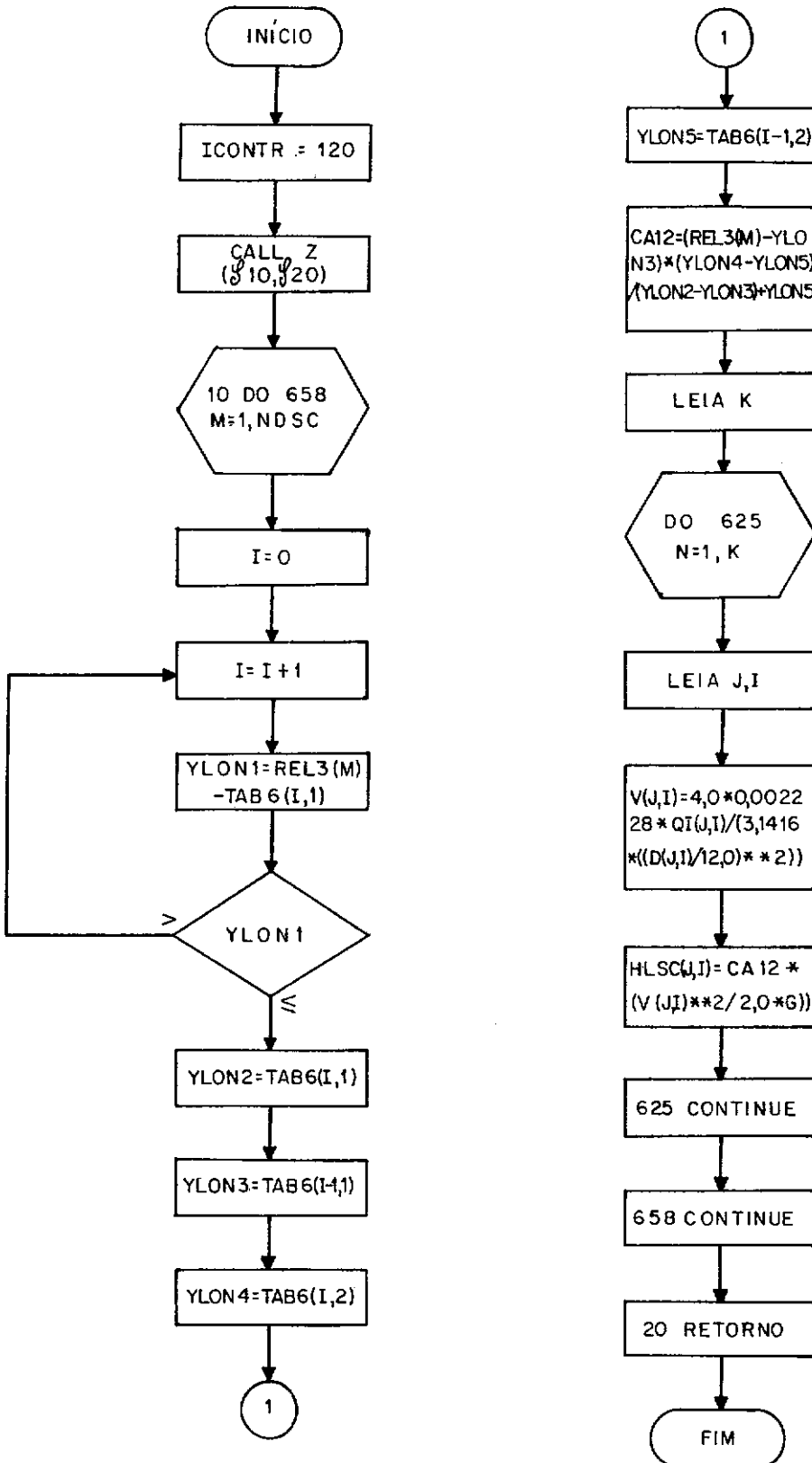
PERDA DE CARGA EM VÁLVULAS DE RETENÇÃO COMPLETAMENTE ABERTAS



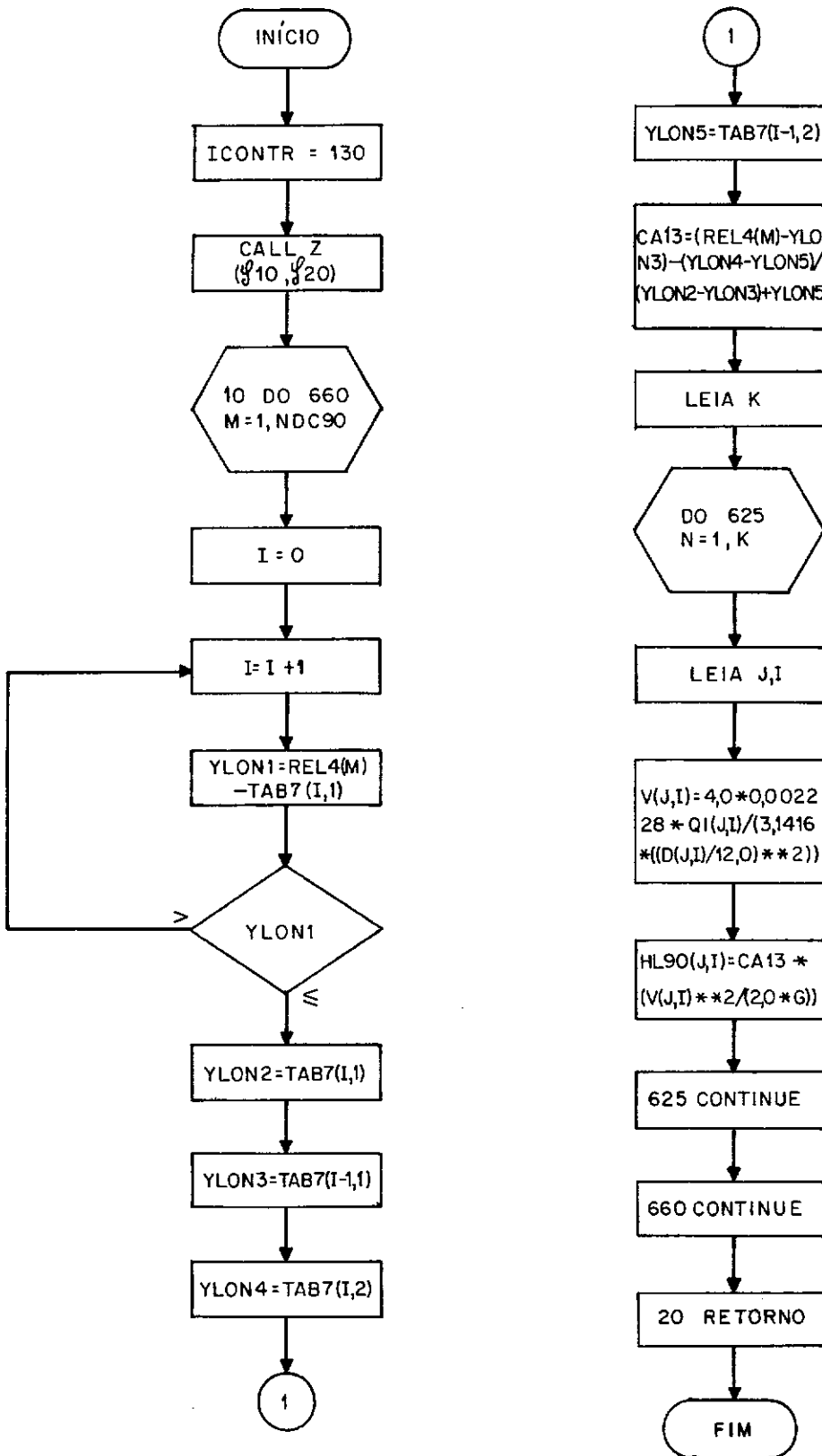
SUBROTINA SENLAR
PERDA DE CARGA EM ALARGAMENTO BRUSCO



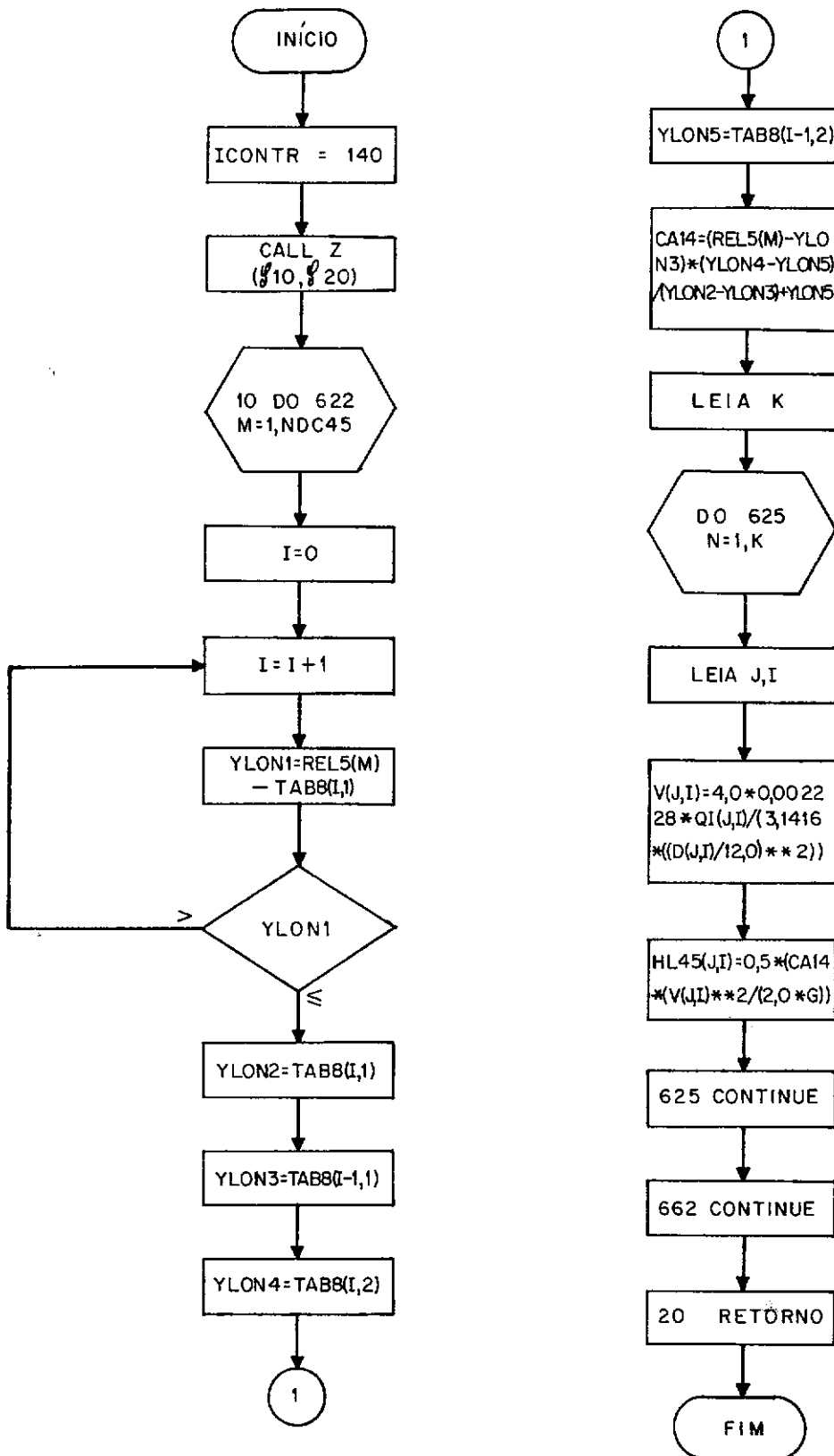
SUBROTINA SCONTR
PERDA DE CARGA EM REDUÇÃO BRUSCA



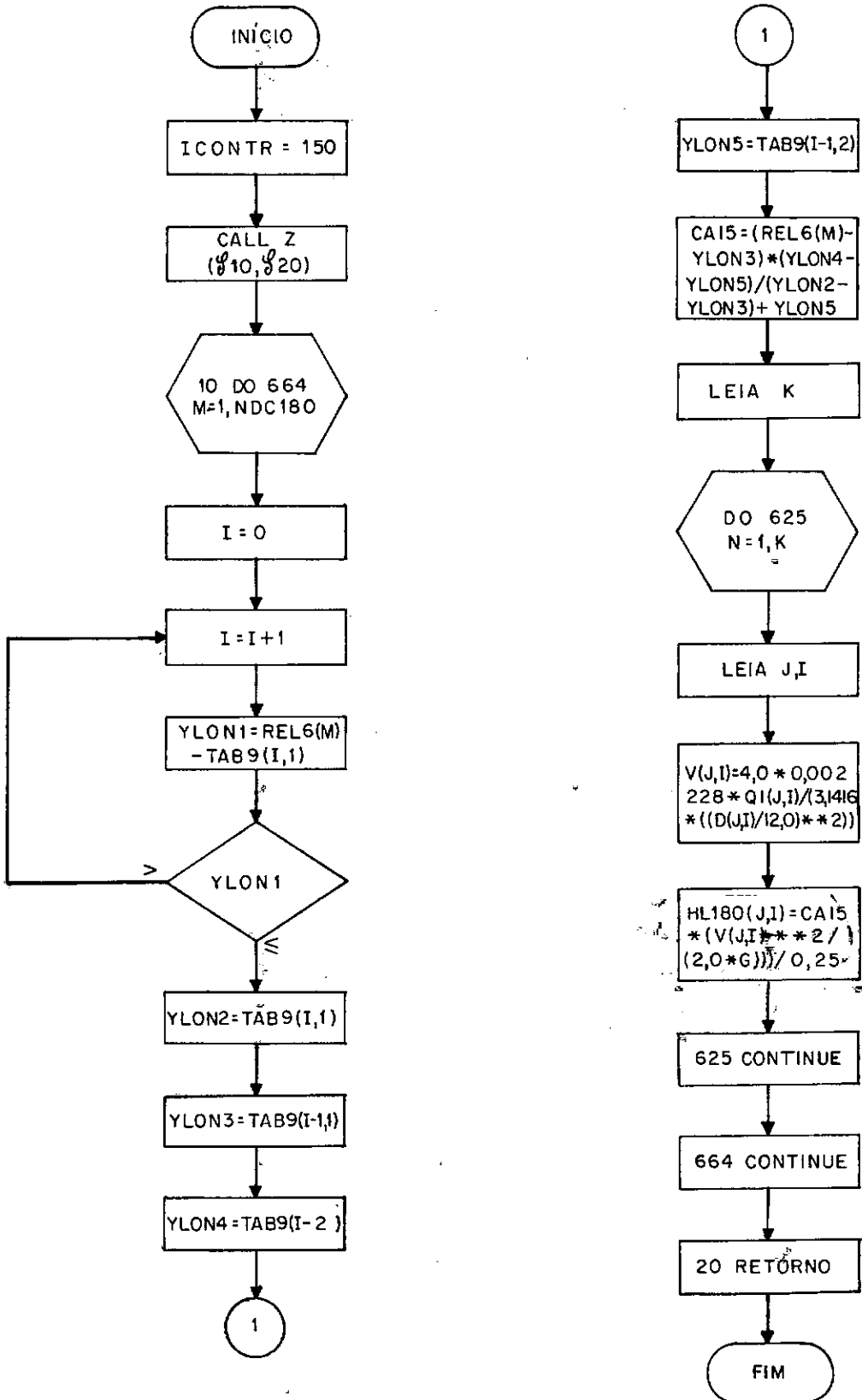
SUBROTINA J 90°
PERDA DE CARGA EM JOELHOS DE 90°



SUBROTINA J 45
PERDA DE CARGA EM JOELHOS DE 45°

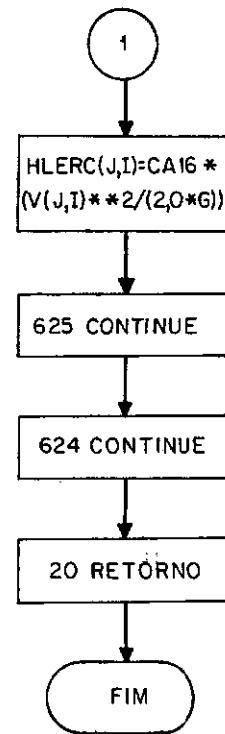
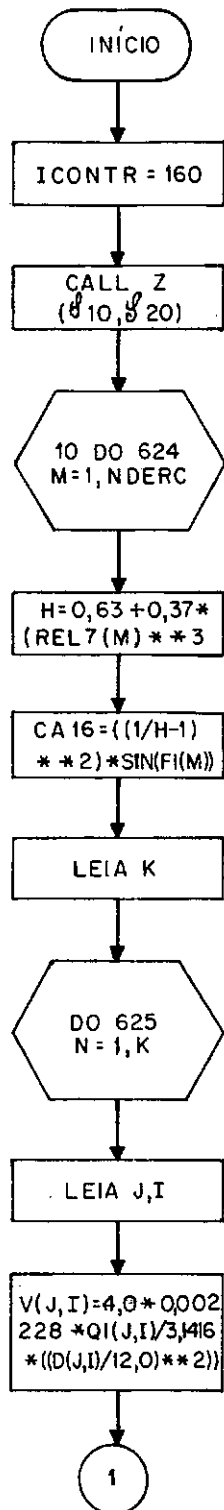


SUBROTINA J 180
PERDA DE CARGA EM JOELHOS DE 180 GRAUS

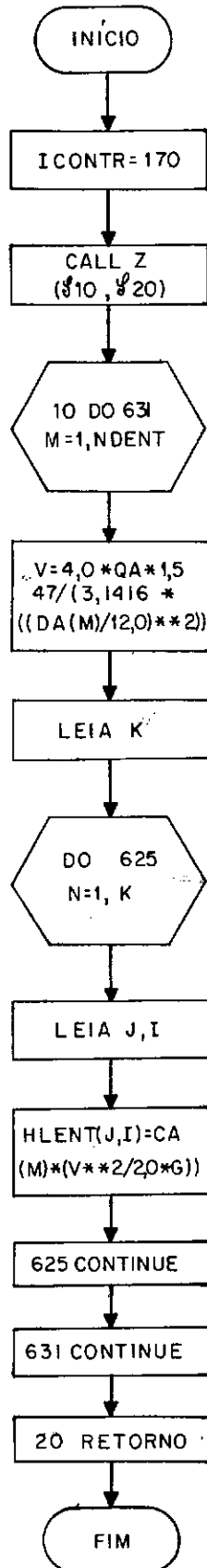


SUBROTINA PCERC

PERDA DE CARGA EM REDUÇÃO CONCÊNTRICA COM REDUÇÃO GRADUAL



SUBROTINA ENTRAD
PERDA DE CARGA NA ENTRADA



CAPÍTULO IV - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta uma análise dos resultados obtidos com a aplicação do programa computacional desenvolvido nos casos dos sistemas hidráulicos mencionados nos itens (III.2) e (III.3).

IV.1 - Resultados obtidos

Referente a tabela III.1, a discrepância entre os resultados foi devido ao número de iterações, pois no exemplo proposto por R. V. Giles⁽⁴⁾ foi de 5, enquanto pelo programa foi de 38 iterações.

Referente a tabela III.2, a pequena diferença existente, em %, entre os resultados obtidos pelo programa e aqueles obtidos na referência⁽¹³⁾, são provenientes dos diferentes valores utilizados pelas propriedades físicas do fluido.

Referente a tabela III.3, os resultados foram idênticos.

Referente a tabela III.4, o uso do comprimento equivalente usado pela FIRMA B, e o uso da equação da energia proposta pelo trabalho, ocasionaram essa discrepância.

O programa computacional de projeto foi elaborado tomando por base um exemplo didático apresentado por R.V. Giles⁽⁴⁾. A seguir foram contruídos aleatoriamente sistemas hidráulicos para comparar os resultados obtidos pelo programa elaborado na tese com os resultados obtidos pelos programas elaborados pelas FIRMAS A e B, as quais deixam de ser mencionadas por ética profissional, dos quais podemos tecer os seguintes comentários:

- 1) O algoritmo desenvolvido calcula satisfatoriamente os sistemas propostos conforme as comparações apresentadas. Além disso, apresenta a grande vantagem de calcular os diâmetros das tubulações como uma variável de projeto.
- 2) O programa desenvolvido apresenta melhores resultados que o utilizado pela FIRMA B, que usa o comprimento equivalente para os

elementos secundários, evitando os fatores de correção para tubos através da equação da energia cinética.

- 3) O programa computacional de projeto, apresenta valores próximos dos exemplos didáticos e da FIRMA A quando usamos para o cálculo das vazões corrigidas os comprimentos de tubos sem considerar as perdas de carga secundárias, ao passo que ao usarmos a equação na forma da energia cinética para o cálculo das perdas de carga secundárias empregada no cálculo das vazões corrigidas, esses valores passam a ter uma diferença de 5% quando comparados com os resultados da FIRMA B.

Após os comentários, apresentamos a seguir os resultados numéricos relativos ao exemplo de 6 anéis e 21 tubos testados no item (III.3). Esta tabela apresenta a influência do parâmetro de proporcionalidade α na determinação dos diâmetros ótimos e uma melhor distribuição das pressões nas saídas do sistema.

Tome-se como exemplo o sistema hidráulico apresentado na figura III.4, sem considerar os elementos secundários. Os resultados do programa computacional apresentados nas tabelas (IV.1) e (IV.2), listados no anexo I para efeitos elucidativos quando $\alpha = 1$, demonstram inclusive a grande veracidade do programa para o cálculo do melhor diâmetro das tubulações para uma determinada condição de perda de carga média do sistema.

Além disso para uma mesma perda de carga média outro procedimento iterativo pode ser adicionado na forma de sub-rotina, ao sistema, sem alterar o procedimento global. Estes fatores e outros adicionais ficam a critério do projetista. Por exemplo, a adição de um novo elemento secundário, feito na forma de sub-rotina, pode ser observado no anexo I.

No anexo I, pode-se encontrar a solução do caso analisado para correção dos diâmetros quando $\alpha = 1$, bem como o caso do cálculo do sistema hidráulico sem a correção dos diâmetros. A única distinção consiste na definição do parâmetro PTM, igual a 1 ou zero respectivamente. Convém ainda lembrar que esse algoritmo pode ser utilizado para sistemas que apresentem um número finito de fontes.

Dados do Programa					$\alpha = 2 - 1$ iteração			$\alpha = 1 - 9$ iterações		
ANEL	TUBO	DIAM. INICIAL (IN)	VAZÃO (GPM)	DIF. DE PRESSÃO (LBS/IN ²)	DIAM. FINAL (IN)	VAZÃO (GPM)	DIF. DE PRESSÃO (LBS/IN ²)	DIAM. FINAL (IN)	VAZÃO (GPM)	DIF. DE PRESSÃO (LBS/IN ²)
1	1	24	27938	5,24	24	28817	5,57	24	31343	6,56
1	2	20	27938	12,04	20	28817	12,80	20	31343	15,10
1	3	16	9156	5,89	16	9464	6,28	16	7827	4,34
1	4	16	13487	11,42	16	14620	13,38	16	16038	16,05
1	5	24	42499	11,74	24	41618	11,27	24	39088	9,96
2	1	20	18781	5,91	20	19353	6,27	20	23514	9,19
2	2	20	18781	6,00	20	19353	6,37	20	23514	9,33
2	3	16	18781	20,03	16	19353	21,25	17	23514	22,85
2	4	12	9795	26,05	12	10088	27,61	13	11709	37,03
3	2	12	12848	49,90	13	13995	39,14	14	12155	20,26
3	3	16	1917	0,26	16	3627	0,89	16	6526	2,75
3	4	16	29011	61,58	16	27000	53,41	16	23046	39,06
4	2	12	10968	36,00	12	11833	41,83	16	17617	20,90
4	3	12	6639	12,13	12	6121	10,35	12	1541	0,73
5	2	10	4292	13,82	10	4248	13,55	10	4090	12,58
5	3	16	8917	4,37	16	8613	4,08	16	7563	3,17
5	4	16	8917	4,58	16	8613	4,28	16	7563	3,33
5	5	16	8917	4,60	16	8613	4,30	16	7563	3,34
6	2	10	877	0,61	10	1226	1,15	10	2432	4,26
6	3	10	877	0,55	10	1226	1,03	10	2432	3,82
6	4	10	877	0,54	10	1226	1,02	10	2432	3,76

Tabela IV.1 - Resultados globais para novos diâmetros.

Dados do Programa		$\alpha = 2$	$\alpha = 1$
NÓ	PRESSÃO FINAL (LBS/IN ²)	PRESSÃO FINAL (LBS/IN ²)	PRESSÃO FINAL (LBS/IN ²)
1	100	147,26	145,80
2	88,26	136,00	135,84
3	26,65	82,60	96,80
4	22,04	58,36	56,50
5	94,76	141,70	139,23
6	17,46	54,08	53,17
7	82,72	128,90	124,13
8	76,82	122,62	119,80
9	26,90	63,54	62,58
10	13,08	50,00	50,00
11	76,80	122,63	114,94
12	70,80	116,26	105,60
13	50,78	95,01	82,76
14	14,77	53,20	61,85
15	14,16	52,04	57,59
16	13,61	51,01	53,77

Tabela IV.2 - Pressões nas saídas.

IV.2 - Recomendações

Visando dar maior versatilidade ao projeto computacional, recomendamos alguns pontos passíveis de análise, que poderão ser introduzidas no programa computacional, objetivando cada vez mais uma aproximação do "ótimo" em projetos de sistemas hidráulicos:

- 1) Adaptação desse algoritmo para otimização de sistemas hidráulicos utilizando critérios diferentes da homogeneização das diferenças de pressão, permitindo desta forma que novas sub-rotinas para a determinação dos diâmetros das tubulações sejam aplicados para otimização dos sistemas neste mesmo algoritmo.
- 2) Adaptação do calibre dos tubos(schedule number) para a determinação do diâmetro nominal, pois, até agora, nesse algoritmo os resultados são apresentados para o diâmetro interno, ficando para o projetista a correção do diâmetro nominal conforme as espessuras provenientes dos calibres das tubulações.
- 3) O estudo das formas de adaptação desse algoritmo para o tratamento do escoamento de fluidos compressíveis, permitindo o projeto de sistemas de distribuição de gases e de vapor.

B I B L I O G R A F I A

- (1) CROSS, H. - Analysis of flow in networks of conduits and conductors. Univ. Illinois, 1936.
- (2) VENNARD, J.K. - Elementary fluid mechanics. 3. ed. New York, John Wiley, 1954.
- (3) SOMERFELD, J.T. - Equation for fluid friction factor. Processing, Houston, 46(7): 135-6, July 1967.
- (4) GILES, R.V. - Theory and problems of fluid mechanics and hydraulics. New York, Mc Graw-Hill, 1972.
- (5) MOODY, L.F. - Friction factor of pipe flow. Trans. A.S.M.E, vol. 66, 1944.
- (6) KING, H.W. - Hydraulics handbook. 15. ed. New York, John Wiley, 1948.
- (7) COMOLET, R. - Mecanique experimentale des fluides. Tome 2, Dynamique des fluides réels turbomachines, masson et Cie. Éditeurs, 1963.
- (8) CRANE COMPANY, Chicago - Flow of fluids through valves, fittings and pipe. New York, 1976. (Crane Company, Chicago. Technical paper, 410).
- (9) STREETER, V.L. - Mecânica dos fluidos. New York, Mc Graw-Hill, 1975.
- (10) CARNAHAN, B. - Applied numerical methods. New York, John Wiley, 1969.

- (11) DELESDERNIER, D.L. - Computer program sizes pipe. Hydrocarbon Processing, Houston, 48(8), august 1969.
- (12) GARCEZ, L.N. - Elementos de mecânica dos fluidos. 2. ed. São Paulo. E. Blucher, 1960.
- (13) WEST, B. - Simplified utility loop balancing. Hydrocarbon Processing, Houston, 45(12): 137-140, December 1966.

ANEXO I - PROGRAMA COMPUTACIONAL

Este capítulo tem por objetivo apresentar o programa computacional de projeto para os computadores BORROUGHS 6700, IBM 360 e IBM 370 em linguagem FORTRAN IV, bem como as especificações do tempo de execução e definição das variáveis utilizadas.

A linguagem de programação utilizada foi o FORTRAN IV, e para o programa elaborado foram utilizados os comandos COMMON blocados e convencionais.

Os usuários ao utilizarem este programa em qualquer dos três computadores, deverão modificar os cartões de controle.

O desenvolvimento do programa permitiu que o mesmo fosse executado em CLASSE 2. Esta CLASSE possibilita ao programa os seguintes limites:

- 1) O máximo de 1600 linhas impressas.
- 2) O tempo máximo de execução de 240 segundos.

O programa elaborado foi executado considerando-se somente o tempo de CPU (22 segundos), os tempos de leitura e impressão dos resultados foram excluídos.

I.1 - Codificação das variáveis e parâmetros de projeto em programação FORTRAN IV

Em programação computacional, não se pode representar as expressões algébricas em sua forma original, sendo necessário, portanto, uma codificação para as variáveis e parâmetros de projeto. Essas variáveis são apresentadas a seguir:

- | | |
|------|--|
| NL | - Número total de anéis do sistema |
| NT | - Número total de tubos por anel |
| DELT | - Parâmetro de precisão para correção da vazão (10^{-2} a 10^{-3}) |
| PENT | - Pressão na entrada do sistema |

NTON	- Número total de nós do sistema
QENT	- Vetor que define as vazões nas entradas e nas saídas do sistema
NU	- Viscosidade cinemática do fluido
G	- Aceleração da gravidade
ROUGH	- Rugosidade absoluta da parede do tubo
RO	- Massa específica do fluido
LUG	- Matriz que define os trechos comuns a dois anéis
LIG	- Matriz que define os trechos de ligação entre os nós
LEG	- Matriz que define os nós de cada anel
NO	- Vetor que define o número total de trechos que convergem para cada nó
L_{ji}	- Matriz que define os comprimentos dos tubos para cada anel do sistema
D_{ji}	- Matriz que define os diâmetros nominais dos tubos para cada anel do sistema
C_{ji}	- Matriz dos coeficientes de Hazen-Williams para cada anel do sistema
TAB1	- Tabela prática da qual tira-se o coeficiente de resistência K_1 , conhecendo-se o ângulo do cone e a razão entre D_1/D_2
NDRC	- Número total de reduções concêntricas com alargamento gradual
AC	- Vetor que define o ângulo do cone formado em cada redução concêntrica com alargamento gradual
REL1	- Vetor que define a razão entre o diâmetro menor (D_1) e o diâmetro maior (D_2), em reduções concêntricas com alargamento gradual
NDTC	- Número total de tês
CA2	- Vetor que define o coeficiente de resistência em tês comuns

- NDBIF - Número total de bifurcações
- BETA - Vetor que define o ângulo formado em bifurcações
- TAB2 - Tabela prática da qual tira-se o coeficiente de resistência K3, conhecendo-se o ângulo formado na bifurcação.
- NDTCD - Número total de tês com derivação
- GAMA - Vetor que define o ângulo formado em tês com derivação
- TAB3 - Tabela prática da qual tira-se o coeficiente de resistência K4, conhecendo-se o ângulo formado em tê com derivação
- NDCOT - Número total de cotovelos
- TETA - Vetor que define o ângulo formado em cotovelos
- TAB4 - Tabela prática da qual tira-se o coeficiente de resistência K5, conhecendo-se o ângulo formado no cotovelo
- NDPCNS - Número total de saídas
- CA6 - Vetor que define o coeficiente de resistência em saídas
- NDVG - Número total de válvulas gaveta
- CA7 - Vetor que define o coeficiente de resistência em válvulas gaveta
- NDVGL - Número total de válvulas globo
- CA8 - Vetor que define o coeficiente de resistência em válvulas globo
- NDVANG - Número total de válvulas angular
- CA9 - Vetor que define o coeficiente de resistência em válvulas angular
- NVRET - Número total de válvulas de retenção
- CA10 - Vetor que define o coeficiente de resistência em válvulas de retenção
- NDSE - Número total de alargamentos bruscos
- REL2 - Vetor que define a razão entre o diâmetro menor (D_1) e o diâmetro maior (D_2) em alargamentos brusco

- TAB5 - Tabela prática da qual tira-se o coeficiente de resistência K_{11} , conhecendo-se a relação D_1/D_2 em alargamento brusco
- NDSC - Número total de reduções brusca
- REL3 - Vetor que define a razão entre o diâmetro menor (D_1) e o diâmetro maior (D_2) em reduções brusca
- TAB6 - Tabela prática da qual tira-se o coeficiente de resistência K_{12} , conhecendo-se a relação D_1/D_2 em redução brusca
- NDC90 - Número total de joelhos de 90°
- REL4 - Vetor que define a razão entre o raio de curvatura e o diâmetro nominal em joelhos de 90°
- TAB7 { Tabela prática da qual tira-se o coeficiente de resistên-
TAB8 { cia K_{13} , conhecendo-se a relação R/D em joelhos de 45° ,
TAB9 { 90° e 180°
- NDC45 - Número total de joelhos de 45°
- REL5 - Vetor que define a razão entre o raio de curvatura e o diâmetro nominal em joelhos de 45°
- NDC180 - Número total de joelhos de 180°
- REL6 - Vetor que define a razão entre o raio de curvatura e o diâmetro nominal em joelhos de 180°
- NDERC - Número total de reduções concêntricas com redução gradual
- REL7 - Vetor que define a razão entre o diâmetro menor (D_1) e o diâmetro maior (D_2) em reduções concêntricas com redução gradual
- FI - Vetor que define o ângulo formado em reduções concêntricas com redução gradual
- PP - Vetor que define a pressão requerida no nó de pressão mínima
- DA - Vetor que define o diâmetro nominal do tubo que alimenta o sistema
- CA - Vetor que define o coeficiente de resistência na entrada

DINC	- Incremento do diâmetro (10^{-1} a 1)
VEL	- Matriz das velocidades médias nos tubos
RE	- Número de Reynolds
HL	- Matriz das perdas de carga nos tubos
DIV	- Parâmetro que determina as perdas de carga por Hazen-Williams
HLTUB	- Matriz das perdas de carga secundárias
DROP	- Matriz das quedas de pressão entre os nós
QINC	- Matriz da distribuição da vazão ao longo do sistema
QTOT	- Matriz das vazões nas saídas do sistema
PTM	$\left\{ \begin{array}{l} =1 - \text{Determina o ponto de pressão mínima} \\ \neq 1 - \text{Determinação dos diâmetros ótimo e da pressão requerida} \\ \quad \text{no nó de pressão mínima} \end{array} \right.$
DQ	- Vetor que calcula os incrementos para correção da vazão em cada anel
DROPM	- Diferencial da pressão média nos tubos
PPINC	- Incremento da pressão (10^{-1} a 1)
FT	- Fator de atrito
DX	- Matriz dos diâmetros corrigidos
ALFA	- Parâmetro de proporcionalidade para correção dos diâmetros
BET	- Parâmetro de precisão para verificação dos diâmetros
Fdd	- Parâmetro de cálculo dos diâmetros
HLSEC	- Matriz que define as perdas de carga secundárias
QLH	- Matriz da razão entre a perda de carga em cada tubo e o fluxo de vazão através desses tubos

I.2 - Programação dos dados e resultados

A definição de variável inteira ou real (ponto flutuante) está ligada diretamente à declaração FORMAT que as distingue da

seguinte forma:

Variável real - FORMAT (Fm.n)

Variável inteira - FORMAT (Im)

Assim, todos os dados de projeto foram elaborados com o FORMAT (Fm.n), com exceção dos limites dos elementos das matrizes, do número máximo de iterações e dos parâmetros NL, NT e NTON, que foram dimensionados como variáveis inteiras ou elaboradas com o FORMAT (Im).

Os resultados foram programados para serem impressos como variáveis reais, sendo normalmente apresentados na forma de tabelas. Deste modo, temos as seguintes sequências para o método de cálculo de projeto de sistemas hidráulicos.

I.2.1 - Sequência de resultados para resolução de sistemas hidráulicos

- 1) Cálculo das perdas de carga nos tubos
- 2) Cálculo das vazões considerando-se a perda de carga nos tubos
- 3) Cálculo das perdas de carga secundárias
- 4) Cálculo das vazões finais considerando-se as perdas de carga nos tubos e secundárias
- 5) Cálculo da diferença de pressão entre os nós e pressões finais
- 6) Determinação do diâmetro ótimo

I.3 - Manual de Operação do programa

A elaboração deste manual, objetiva facilitar o manuseio do programa. Desta forma, procuraremos situar o usuário quanto a sua operação.

I.3.1 - Relativamente aos dados do projeto

- 1) O fluido que escoar no interior do tubo do sistema hidráulico, foi considerado no projeto, como sendo fluido incompressível

- 2) A temperatura do fluido em escoamento é constante
- 3) As variáveis NL e NT definem o número total de anéis e tubos do sistema hidráulico
- 4) O projeto considera parâmetro de precisão, parâmetro de proporcionalidade e parâmetro de cálculo dos diâmetros, que estão codificados no anexo (I.1)
- 5) As propriedades físicas dos fluidos, são dados de projeto, e as mesmas foram retiradas de tabelas contidas na literatura especializada. Para o projeto, essas propriedades são retiradas a partir da temperatura do fluido em escoamento e as mesmas estão assim codificadas:
NU - Viscosidade cinemática
RO - Massa específica
- 6) A rugosidade absoluta e o coeficiente de Hazen-Williams são dados de projeto, e dependem do tipo de material escolhido; sendo assim codificado:
ROUGH - Rugosidade absoluta da parede dos tubos
C - Coeficiente de Hazen-Williams
- 7) O diâmetro dos tubos utilizado no sistema hidráulico e seus comprimentos são dados de projeto e são codificados como:
D - Diâmetro nominal dos tubos
L - Comprimento dos tubos
- 8) A vazão na entrada e na saída do sistema são dados de projeto e sua codificação é QENT. O valor da vazão na entrada deverá ser positivo e na saída negativo, o número de saídas ficará a critério do usuário, devendo obedecer a lei da continuidade
- 9) O programa foi elaborado de modo que atendesse para um número finito de tubos e anéis, as seguintes especificações:
 - a) Determinação das perdas de carga nos tubos e perdas de carga secundárias (válvulas, reduções, derivações e etc.). Isto é realizado pelo programa principal e pelas sub-rotinas dos elementos

- b) Determinação do cálculo das vazões através do sistema, levando-se em conta a perda de carga total, isto é, a perda de carga nos tubos e as perdas de carga secundárias
 - c) Determinação da queda de pressão entre dois pontos DROP(J,I)
 - d) Determinação das pressões nos nós, partindo-se de que seja conhecida a pressão na entrada. A sub-rotina PRESAO é responsável pelo cálculo das pressões nesses nós; e necessita de um valor inicial para início do processo. Esse valor deverá ser obtido dos dados da bomba a ser utilizada. Se o ponto mais longe do sistema apresentar uma pressão relativamente baixa da necessitada, devemos aumentar a pressão na entrada, caso contrário, diminuí-la. Isto é obtido através da variável PENT
 - e) Correção dos diâmetros dos tubos para que o sistema admita, quando desejado, maiores pressões nos pontos mais afastados. A sub-rotina DIAM é responsável pelo cálculo desses diâmetros. Para que o nó de pressão mínima atinja o valor desejado pelo usuário, é necessário que seja fornecida a esta sub-rotina o valor da variável PP(J), que significa a pressão desejada no ponto de pressão mínima. DINC define o incremento do diâmetro e ALFA o parâmetro de proporcionalidade da relação percentual entre a pressão média e a pressão máxima do sistema
- 10) Os elementos secundários, são calculados segundo equações convencionais da literatura existente. Existe no programa dezesse sub-rotinas para o cálculo das perdas secundárias, cada uma definindo diferentes elementos, mas todas na forma da energia cinética, de modo a facilitar a introdução de novos parâmetros, quando estes se fizerem necessários. Essas sub-rotinas, foram enumeradas de 10 em 10, de 10 a 170, por meio de uma variável ICONTR, e serão utilizadas quando em determinados anéis e tubos houver elementos para cálculo de perdas secundárias. Esses valores serão fixados em disco através de dois comandos de leitura READ, usando FORMAT (Im). O primeiro comando definirá o tipo de elemento localizado no referido tubo, através do valor numérico atribuído a variável ICONTR, e o segundo comando o número do anel e do tubo na qual encontra-se o elemento.

Sub-rotina	PCNRC	-	redução concêntrica	-	ICONTR = 10
Sub-rotina	TECOM	-	tê comum	-	ICONTR = 20
Sub-rotina	BIFURC	-	bifurcação	-	ICONTR = 30
Sub-rotina	TECDER	-	derivação	-	ICONTR = 40
Sub-rotina	COTOVE	-	cotovelos	-	ICONTR = 50
Sub-rotina	CPDCNS	-	saída	-	ICONTR = 60
Sub-rotina	GAVETA	-	válvula gaveta	-	ICONTR = 70
Sub-rotina	GLOBO	-	válvula globo	-	ICONTR = 80
Sub-rotina	ANGULO	-	válvula angular	-	ICONTR = 90
Sub-rotina	RETEN	-	válvula retenção	-	ICONTR = 100
Sub-rotina	SENLAR	-	alargamento brusco	-	ICONTR = 110
Sub-rotina	SCONTR	-	redução brusca	-	ICONTR = 120
Sub-rotina	J90	-	joelhos de 90 ^o	-	ICONTR = 130
Sub-rotina	J45	-	joelhos de 45 ^o	-	ICONTR = 140
Sub-rotina	J180	-	joelhos de 180 ^o	-	ICONTR = 150
Sub-rotina	PCERC	-	redução concêntrica	-	ICONTR = 160
Sub-rotina	ENTRAD	-	entrada	-	ICONTR = 170

- 11) Caso o usuário necessite incluir uma ou mais sub-rotinas de perdas de carga secundárias no programa deverá proceder da seguinte maneira:
- a) Definir através da variável ICONTR um valor numérico para esse elemento, obedecendo o parágrafo 10 do sub-ítem I.3.1.
 - b) Criar os comandos COMMON para intercâmbio dos dados entre sub-rotinas e programa principal.
 - c) Determinar o coeficiente de resistência K por meio de equações analíticas ou através de tabelas.
 - d) Caso o elemento secundário não tenha equação analítica para resolução do coeficiente de resistência K, obteremos esse valor de tabelas práticas, não esquecendo de fazer-se uma interpolação linear para obtenção desse resultado.
 - e) A localização do elemento secundário no tubo e no anel, deverá ser dada por meio de dois READ colocados na sub-rotina que se está construindo, por meio do FORMAT (Im).

f) Como passo final, determinamos pela equação (II.19) a perda de carga secundária através desse elemento.

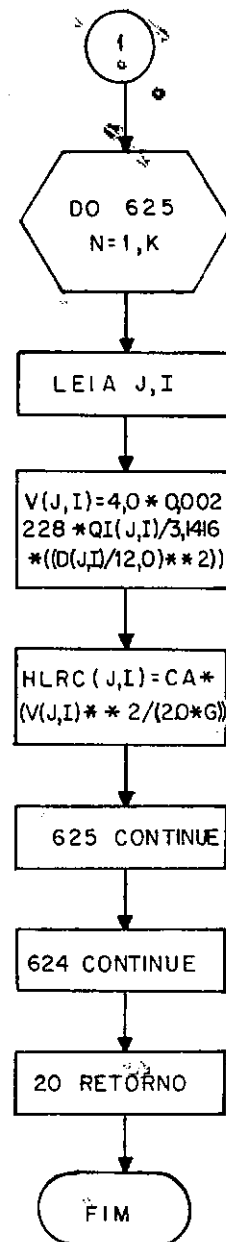
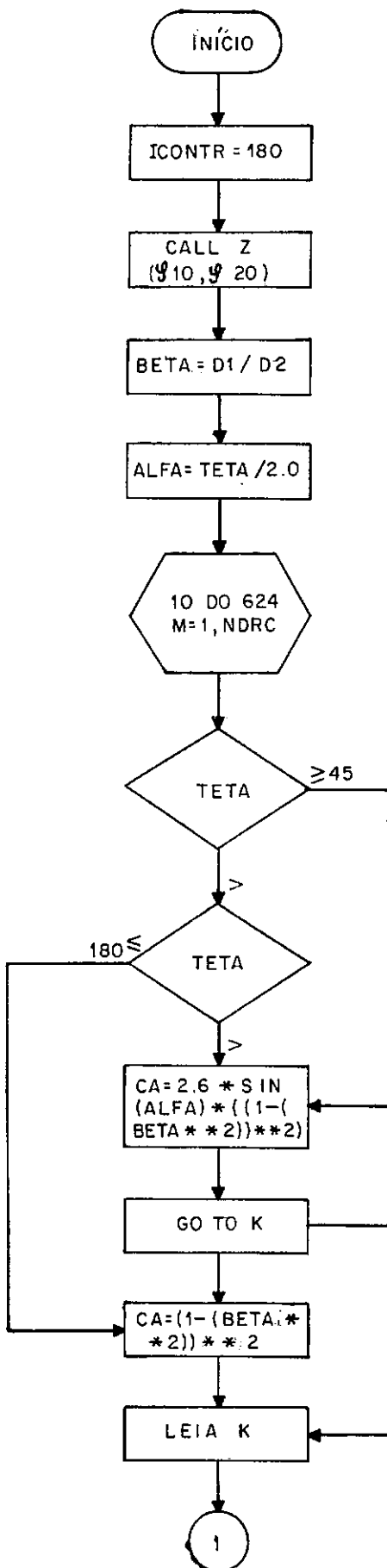
I.3.2 - Sub-rotina para cálculo de redução concêntrica

Em lugar da tabela proposta em (II.3.1), vamos supor que seja de interesse incluir uma sub-rotina para o cálculo do coeficiente de resistência K conforme a equação CRANE⁽⁸⁾ página 3.4:

$$\theta \leq 45^\circ \quad K = 2,6 \operatorname{sen} \frac{\theta}{2} \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2} \right)^2 \quad (\text{I.1})$$

$$45^\circ < \theta \leq 180^\circ \quad K = \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2} \right)^2 \quad (\text{I.2})$$

Observa-se que nas sub-rotinas PCNRC e PCERC, páginas 57 e 73, a determinação analítica do coeficiente de resistência K, simplifica a sequência numérica de interpolação. Desse modo mostraremos como uma nova sub-rotina para o cálculo de perda de carga secundária pode ser adicionada a esse algoritmo, e ao mesmo tempo, apresentar o cálculo analítico do coeficiente de resistência da redução concêntrica com alargamento gradual.



I.3.2 - LISTAGEM DO PROGRAMA

```

*****
*
* P R O G R A M A   A L G O R I T I M O   N U M E R I C O
*
* P A R A   P R O J E T O   D E   S I S T E M A S   H I -
*
* D R A U L I C O S .
*
* T E S E   D E   M E S T R A D O   R E A L I Z A D A   P O R   N I L T O N   C A S T R O   C O U T O
*
*           ( E N G E N H A R I A   M E C A N I C A / C O P P E / U F R J )
*
*****
FINALIDADE - DETERMINACAO DAS VAZOEZ, PERDAS DE CARGA E DIFEREN-
              CIAL DE PRESSAO AO LONGO DO SISTEMA HIDRAULICO E O
              CALCULO DA PRESSAO NOS NOS CONHECENDO-SE A PRESSAO
              NA ENTRADA.

DIMENSION TAB2(5,2),TAB3(5,2),TAB4(5,2),TAB5(5,2),TAB6(5,2)
DIMENSION TAB7(10,2),TAB8(10,2),TAB9(10,2),P(30),PP(30)
DIMENSION QI(50,20),SOMA(30),SOMAS(30),E(50,20)
DIMENSION VEL(50,20),D(50,20),C(50,20),QENT(30)
DIMENSION HLTUB(50,20),L(50,20),HL(50,20),HLSEC(50,20)
DIMENSION QTOT(50,20),QCORG(50,20),QINC(50,20)
DIMENSION DROP(50,20),NT(30),LEG(50,20),LIG(50,20),NO(30)
DIMENSION QT(50,20),LUG(50,20),QLH(50,20),DQ(30),QA(30)
DIMENSION TAB1(6,10),AC(30),REL1(30)
DIMENSION CA(30),HLENT(50,20),DA(30)
DIMENSION HLNRC(50,20),HLERC(50,20),HLT(50,20),CA2(30)
DIMENSION HLBIF(50,20),BETA(30)
DIMENSION HLGAV(50,20),CA7(30)
DIMENSION HLGLOB(50,20),CA8(30)
DIMENSION HL90(50,20),REL4(30)
DIMENSION HLTCO(50,20),GAMA(30)
DIMENSION HLCOT(50,20),TETA(30)
DIMENSION HLPNS(50,20),CA6(30)
DIMENSION HLANG(50,20),CA9(30)
DIMENSION HLRET(50,20),CA10(30)
DIMENSION HLSE(50,20),REL2(30)
DIMENSION HLSC(50,20),REL3(30)
DIMENSION HL45(50,20),REL5(30)
DIMENSION HL180(50,20),REL6(30)
DIMENSION REL7(30),FI(30)
DIMENSION SDPNL(30),STD(30)
COMMON/BLK1/NL,NT
COMMON/BLK2/QA,DA,CA
COMMON/BLK3/C,DELT
COMMON/BLK4/G
COMMON/BLK5/NU,ROUGH
COMMON/BLK6/LIG,NO
COMMON/BLK7/D

```

COMMON/BLK8/QI
COMMON/BLK9/TAB1,AC,REL1
COMMON/BLK10/DROP,PENT
COMMON/BLK12/L
COMMON/BLK13/QENT,NTON
COMMON/BLK14/LUG
COMMON/BLK15/P
COMMON/BLK16/LEG
COMMON/BLK17/CA2
COMMON/BLK18/BETA,TAB2
COMMON/BLK19/GAMA,TAB3
COMMON/BLK20/TETA,TAB4
COMMON/BLK21/CA6
COMMON/BLK22/CA7
COMMON/BLK23/CA8
COMMON/BLK24/CA9
COMMON/BLK25/CA10
COMMON/BLK26/TAB5,REL2
COMMON/BLK27/TAB6,REL3
COMMON/BLK28/TAB7,REL4
COMMON/BLK29/TAB8,REL5
COMMON/BLK30/TAB9,REL6
COMMON/BLK33/HLNRC,NDRC
COMMON/BLK34/HLT,NDTC
COMMON/BLK35/HLBIF,NDBIF
COMMON/BLK36/HLTCD,NDTCD
COMMON/BLK37/HLCOT,NDCOT
COMMON/BLK38/HLPNS,NOPCNS
COMMON/BLK39/HLGAV,NDVG
COMMON/BLK40/HLGLOB,NDVGL
COMMON/BLK41/HLANG,NDVANG
COMMON/BLK42/HLRET,NDVRET
COMMON/BLK43/HLSE,NDESE
COMMON/BLK44/HLSC,NDSC
COMMON/BLK45/HL90,NDC90
COMMON/BLK46/HL45,NDC45
COMMON/BLK47/HL180,NDC180
COMMON/BLK48/REL7,FI
COMMON/BLK49/HLERC,NDERC
COMMON/BLK50/HLENT,NDENT
COMMON/BLK51/HLSEC
COMMON/BLK52/PP,RO,ALFA,DINC
COMMON/BLK53/QTOT
REAL L,NU
CALL YPSLON
READ(2,1)NL
READ(2,2)(NT(J),J=1,NL)
READ(2,3)DELT
READ(2,4)PENT
READ(2,5)NTON
READ(2,6)NU
READ(2,7)G
READ(2,8)ROUGH
READ(2,9)RO


```
      READ(2,10)ALFA,DINC,PTM
      READ(2,11)(PP(J),J=1,NTON)
      READ(2,12)(QENT(J),J=1,NTON)
      DO 500 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      READ(2,13)(LUG(J,I),I=1,NAUX)
500  CONTINUE
      READ(2,14)((LIG(J,I),J=1,NTON),I=1,NTON)
      DO 501 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      READ(2,15)(LEG(J,I),I=1,NAUX)
501  CONTINUE
      READ(2,16)(NO(J),J=1,NTON)
      DO 502 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      READ(2,17)(L(J,I),I=1,NAUX)
502  CONTINUE
      DO 503 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      READ(2,18)(D(J,I),I=1,NAUX)
503  CONTINUE
      DO 504 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      READ(2,19)(C(J,I),I=1,NAUX)
504  CONTINUE
      DO 505 I=1,6
      READ(2,20)(TAB1(I,J),J=1,10)
505  CONTINUE
      READ(2,21)NDRC
      READ(2,22)(AC(M),M=1,NDRC)
      READ(2,23)(REL1(M),M=1,NDRC)
      READ(2,24)NDTC
      READ(2,25)(CA2(M),M=1,NDTC)
      READ(2,26)NDBIF
      READ(2,27)(BETA(M),M=1,NDBIF)
      DO 506 I=1,5
      READ(2,28)(TAB2(I,J),J=1,2)
506  CONTINUE
      READ(2,29)NDTCD
      READ(2,30)(GAMA(M),M=1,NDTCD)
      DO 507 I=1,5
      READ(2,31)(TAB3(I,J),J=1,2)
507  CONTINUE
      READ(2,32)NDCOT
      READ(2,33)(TETA(M),M=1,NDCOT)
      DO 508 I=1,5
      READ(2,34)(TAB4(I,J),J=1,2)
508  CONTINUE
      READ(2,35)NDPCNS
      READ(2,36)(CA6(M),M=1,NDPCNS)
      READ(2,37)NDVG
      READ(2,38)(CA7(M),M=1,NDVG)
      READ(2,39)NDVGL
      READ(2,40)(CA8(M),M=1,NDVGL)
```

```
READ(2,41)NDVANG
READ(2,42)(CA9(M),M=1,NDVANG)
READ(2,43)NDVRET
READ(2,44)(CA10(M),M=1,NDVRET)
READ(2,45)NDSE
READ(2,46)(REL2(M),M=1,NDSE)
DO 509 I=1,5
READ(2,47)(TAB5(I,J),J=1,2)
509 CONTINUE
READ(2,48)NDSC
READ(2,49)(REL3(M),M=1,NDSC)
DO 510 I=1,5
READ(2,50)(TAB6(I,J),J=1,2)
510 CONTINUE
READ(2,51)NDC90
READ(2,52)(REL4(M),M=1,NDC90)
DO 511 I=1,10
READ(2,53)(TAB7(I,J),J=1,2)
511 CONTINUE
READ(2,54)NDC45
READ(2,55)(REL5(M),M=1,NDC45)
DO 512 I=1,10
READ(2,56)(TAB8(I,J),J=1,2)
512 CONTINUE
READ(2,57)NDC180
READ(2,58)(REL6(M),M=1,NDC180)
DO 513 I=1,10
READ(2,59)(TAB9(I,J),J=1,2)
513 CONTINUE
READ(2,60)NDERC
READ(2,61)(REL7(M),M=1,NDERC)
READ(2,62)(FI(M),M=1,NDERC)
READ(2,63)NDENT
READ(2,64)(OA(M),M=1,NDENT)
READ(2,65)(CA(M),M=1,NDENT)
WRITE(5,1000)NL
WRITE(5,1001)(NT(J),J=1,NL)
WRITE(5,1002)DELT
WRITE(5,1003)PENT
WRITE(5,1004)NTON
WRITE(5,1005)NU
WRITE(5,1006)G
WRITE(5,1007)ROUGH
WRITE(5,1008)RO
WRITE(5,1009)ALFA
WRITE(5,1010)DINC
WRITE(5,1011)(QENT(J),J=1,NTON)
WRITE(5,1012)
DO 514 J=1,NL
NAUX=NT(J)
WRITE(5,1013)(LUG(J,I),I=1,NAUX)
514 CONTINUE
WRITE(5,1014)((LIG(J,I),J=1,NTON),I=1,NTON)
WRITE(5,1015)
```

```
      DO 515 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      WRITE(5,1016)(LEG(J,I),I=1,NAUX)
515  CONTINUE
      WRITE(5,1017)(NO(J),J=1,NTON)
      WRITE(5,1018)
      DO 516 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      WRITE(5,1019)(L(J,I),I=1,NAUX)
516  CONTINUE
      WRITE(5,1020)
      DO 517 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      WRITE(5,1021)(O(J,I),I=1,NAUX)
517  CONTINUE
      WRITE(5,1022)
      DO 518 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      WRITE(5,1023)(C(J,I),I=1,NAUX)
518  CONTINUE
      1  FORMAT(I3)
      2  FORMAT(15I5)
      3  FORMAT(F9.7)
      4  FORMAT(F12.5)
      5  FORMAT(I3)
      6  FORMAT(F12.10)
      7  FORMAT(F4.1)
      8  FORMAT(F9.6)
      9  FORMAT(F8.4)
     10  FORMAT(3F5.3)
     11  FORMAT(16F5.1)
     12  FORMAT(6F12.4)
     13  FORMAT(15I5)
     14  FORMAT(25I3)
     15  FORMAT(15I5)
     16  FORMAT(25I3)
     17  FORMAT(8F10.3)
     18  FORMAT(8F4.0)
     19  FORMAT(8F5.0)
     20  FORMAT(10F6.3)
     21  FORMAT(I3)
     22  FORMAT(20F3.0)
     23  FORMAT(10F5.3)
     24  FORMAT(I3)
     25  FORMAT(10F4.2)
     26  FORMAT(I3)
     27  FORMAT(15F4.1)
     28  FORMAT(2F4.1)
     29  FORMAT(I3)
     30  FORMAT(20F3.0)
     31  FORMAT(2F4.1)
     32  FORMAT(I3)
     33  FORMAT(15F4.1)
     34  FORMAT(2F4.1)
```

```

35 FORMAT(I3)
36 FORMAT(20F3.0)
37 FORMAT(I3)
38 FORMAT(15F4.2)
39 FORMAT(I3)
40 FORMAT(12F6.2)
41 FORMAT(I3)
42 FORMAT(20F3.1)
43 FORMAT(I3)
44 FORMAT(15F4.2)
45 FORMAT(I3)
46 FORMAT(15F4.2)
47 FORMAT(2F4.1)
48 FORMAT(I3)
49 FORMAT(15F4.2)
50 FORMAT(2F4.1)
51 FORMAT(I3)
52 FORMAT(15F5.2)
53 FORMAT(2F5.2)
54 FORMAT(I3)
55 FORMAT(15F5.2)
56 FORMAT(2F5.2)
57 FORMAT(I3)
58 FORMAT(20F4.2)
59 FORMAT(2F5.2)
60 FORMAT(I3)
61 FORMAT(15F4.2)
62 FORMAT(15F4.1)
63 FORMAT(I3)
64 FORMAT(15F4.1)
65 FORMAT(15F5.3)
1000 FORMAT(#1#,3(/),49X,#DADOS DE ENTRADA PARA O SISTEMA#,//,59X,#NL=#
      *,I3)
1001 FORMAT(/,59X,#NT=#,I3)
1002 FORMAT(/,57X,#DELT=#,F7.5)
1003 FORMAT(/,57X,#PENT=#,F8.3)
1004 FORMAT(/,57X,#NTON=#,I3)
1005 FORMAT(/,59X,#NU=#,F12.10)
1006 FORMAT(/,60X,#G=#,F6.3)
1007 FORMAT(/,56X,#ROUGH=#,F8.5)
1008 FORMAT(/,59X,#RD=#,F9.3)
1009 FORMAT(/,57X,#ALFA=#,F3.1)
1010 FORMAT(/,57X,#DINC=#,F3.1)
1011 FORMAT(///,41X,#MATRIZ DAS VAZÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA#,/
      *,(30X,6(F8.0,3X)))
1012 FORMAT(///,46X,#MATRIZ DOS TRECHOS COMUNS A DOIS ANEIS#,/)
1013 FORMAT(48X,6(I3,3X))
1014 FORMAT(///,45X,#MATRIZ QUE DEFINE A LIGAÇÃO ENTRE OS NOS#,/(30X,1
      *2(I3,3X)))
1015 FORMAT(///,46X,#MATRIZ QUE DEFINE OS NOS DE CADA ANEL#,/)
1016 FORMAT(48X,6(I3,3X))
1017 FORMAT(///,42X,#MATRIZ QUE DEFINE O NÚMERO DE TUBOS EM CADA NO#,/
      *(35X,8(I3,5X)))
1018 FORMAT(///,49X,#MATRIZ DOS COMPRIMENTOS DOS TUBOS#,/)

```

```

1019 FORMAT(35X,5(F7.0,5X))
1020 FORMAT(///,46X,#MATRIZ DOS DIAMETROS NOMINAIS DOS TUBOS#,/)
1021 FORMAT(43X,5(F6.2,5X))
1022 FORMAT(///,42X,#MATRIZ DOS COEFICIENTES DE RUGOSIDADE RELATIVA#
1023 FORMAT(40X,8(F7.2,3X))
      CALL VAZAO
      NINT=1
100  CALL PDCS
      DO 519 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      DO 519 I=1,NAUX
      QTOT(J,I)=QI(J,I)
519  CONTINUE
101  DO 520 J=1,NL
      SOMA(J)=0
      SOMAS(J)=0
      NAUX=NT(J)
      DO 520 I=1,NAUX
      VEL(J,I)=4.0*0.002228*QTOT(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
      REN=VEL(J,I)*(D(J,I)/12.0)/NU
      IF(ABS(REN)-2100.)1500,1500,1501
1500  HLTUB(J,I)=32.*NU*L(J,I)*VEL(J,I)/(G*((D(J,I)/12.0)**2))
      HL(J,I)=HLTUB(J,I)+HLSEC(J,I)
      XN=2.0
      GO TO 103
1501  IF(ABS(REN)-10000.)1502,1502,1503
1502  E(J,I)=(10.43*L(J,I))/(C(J,I)**1.85*D(J,I)**4.87)
      QW=QTOT(J,I)
      IF(QW)200,210,220
200  QW=-QW
220  DIV=E(J,I)*QW**0.85
      HLTUB(J,I)=DIV*QW
      IF(QTOT(J,I))230,210,240
230  HLTUB(J,I)=-HLTUB(J,I)
240  XN=1.85
      HL(J,I)=HLTUB(J,I)+HLSEC(J,I)
210  GO TO 103
1503  A=(12.0*ROUGH)/(3.7*D(J,I))
      B=2.51/ABS(REN)
      X=-2.0*ALOG10(A+1.0E-12)
102  Y=X+2.0*ALOG10(A+B*X)
      IF(ABS(Y)-1.0E-06)1505,1505,1504
1504  YPRIM=1.0+(.43429448*2.0*B)/(A+B*X)
      X=X-Y/YPRIM
      GO TO 102
1505  FT=1.0/(X**2)
      RY=FT*L(J,I)*(ABS(VEL(J,I))*(VEL(J,I)))
      RX=(D(J,I)/12.0)*2.*G
      HLTUB(J,I)=RY/RX
      HL(J,I)=HLTUB(J,I)+HLSEC(J,I)
      XN=2.0
103  QLH(J,I)=(HL(J,I)*1.547/(QTOT(J,I)*0.002228))*XN
      SOMA(J)=SOMA(J)+HL(J,I)
      SOMAS(J)=SOMAS(J)+QLH(J,I)

```

```

520 CONTINUE
  DO 521 J=1,NL
    DQ(J)=-SOMA(J)/SOMAS(J)
521 CONTINUE
  M=0
  DO 522 J=1,NL
    IF(ABS(DQ(J))-DELT)1506,1506,522
1506 M=M+1
  522 CONTINUE
  IF(M-NL)1508,1509,1509
1508 DO 523 J=1,NL
  NAUX=NT(J)
  DO 523 I=1,NAUX
    QT(J,I)=((QTOT(J,I)*0.002228)/1.547)+DQ(J)
    IF(LUG(J,I).EQ.0)GO TO 523
    KK=LUG(J,I)
    QT(J,I)=QT(J,I)-DQ(KK)
  523 CONTINUE
  DO 524 J=1,NL
  NAUX=NT(J)
  DO 524 I=1,NAUX
    QTOT(J,I)=(1.547*QT(J,I))/0.002228
  524 CONTINUE
  GO TO 101
1509 IF(NINT-1)1510,1510,1511
1510 DO 525 J=1,NL
  NAUX=NT(J)
  DO 525 I=1,NAUX
    QCORG(J,I)=ABS(QTOT(J,I)-QI(J,I))
    IF(QCORG(J,I)-0.001)1512,1512,525
  525 CONTINUE
  NINT=NINT+1
  DO 526 J=1,NL
  NAUX=NT(J)
  DO 526 I=1,NAUX
    QI(J,I)=QTOT(J,I)
  526 CONTINUE
  GO TO 100
1511 DO 527 J=1,NL
  NAUX=NT(J)
  DO 527 I=1,NAUX
    QCORG(J,I)=ABS(QTOT(J,I)-QI(J,I))
    IF(QCORG(J,I)-0.001)1512,1512,527
  527 CONTINUE
  NINT=NINT+1
  DO 528 J=1,NL
  NAUX=NT(J)
  DO 528 I=1,NAUX
    QI(J,I)=QTOT(J,I)
  528 CONTINUE
  GO TO 100
1512 DO 529 J=1,NL
  NAUX=NT(J)
  DO 529 I=1,NAUX

```

```

DROP(J,I)=(HL(J,I)*R0)/144.0
529 CONTINUE
CALL PRESAO
IF(PTM.EQ.1)GO TO 1514
CALL DIAM(MM,NN,DX,TST)
IF(TST.LE.ALFA)GO TO 1514
IF(D(MM,NN)-DX)1513,1514,1514
1513 D(MM,NN)=DX
GO TO 101
1514 DO 530 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      DO 530 I=1,NAUX
        HL(J,I)=ABS(HL(J,I))
        QTOT(J,I)=ABS(QTOT(J,I))
        DROP(J,I)=ABS(DROP(J,I))
530 CONTINUE
      WRITE(5,1030)
1030 FORMAT(///50X,#RESOLUCAO DO SISTEMA HIDRAULICO#,//36X,#ANEL#,4X
*UBO#,4X,#PERDA DE CARGA#,4X,#VAZAO#,4X,#DIF. DE PRESSAO#,4X,#DI
*TRO#,/57X,#(FT)#,9X,#(GPM)#,6X,#(LBS/IN**2)#,8X,#(IN)#)
      DO 531 J=1,NL
        NAUX=NT(J)
        DO 531 I=1,NAUX
          WRITE(5,1031)J,I,HL(J,I),QTOT(J,I),DROP(J,I),D(J,I)
1031 FORMAT(36X,I3,5X,I3,8X,F8.4,4X,F10.4,5X,F7.4,13X,F4.0)
531 CONTINUE
      WRITE(5,1032)
1032 FORMAT(///52X,#CALCULO DAS PRESSOES NOS NOS#)
      DO 532 J=1,NTON
        WRITE(5,1033)J,P(J)
1033 FORMAT(/47X,#CALCULO DA PRESSAO NO NO#,I3,1X,#=#,F8.3)
532 CONTINUE
CALL EXIT
END
```

```

SUBROUTINE VAZAO
C *****
C * CALCULO DAS VAZOES E DAS PERDAS DE CARGA EM TUBOS *
C *****
C
  DIMENSION HLTUB(50,20),QLH(50,20),DQ(30),QT(50,20)
  DIMENSION QI(50,20),L(50,20),D(50,20),XEQ(30),AS(30),C(50,20)
  DIMENSION VEL(50,20),QINC(50,20),NT(30),LUG(50,20),E(50,20)
  COMMON/BLK1/NL,NT
  COMMON/BLK3/C,DELT
  COMMON/BLK4/G
  COMMON/BLK5/NU,ROUGH
  COMMON/BLK7/D
  COMMON/BLK8/QI
  COMMON/BLK11/QINC
  COMMON/BLK12/L
  COMMON/BLK14/LUG
  REAL L,NU
  CALL VAZIN
2000 DO 535 J=1,NL
      AS(J)=0
      XEQ(J)=0
      NAUX=NT(J)
      DO 535 I=1,NAUX
          VEL(J,I)=4.*0.002228*QINC(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.)**2))
          RE=VEL(J,I)*(D(J,I)/12.)/NU
          IF(ABS(RE)-2100.)1500,1500,1501
1500 HLTUB(J,I)=32.*NU*L(J,I)*VEL(J,I)/(G*((D(J,I)/12.)**2))
          XN=2.0
          GO TO 2002
1501 IF(ABS(RE)-10000.)1502,1502,1503
1502 E(J,I)=(10.43*L(J,I))/(C(J,I)**1.85*D(J,I)**4.87)
          QW=QINC(J,I)
          IF(QW)200,210,220
200 QW=-QW
220 DIV=E(J,I)*QW**0.85
          HLTUB(J,I)=DIV*QW
          IF(QINC(J,I))230,210,240
230 HLTUB(J,I)=-HLTUB(J,I)
240 XN=1.85
210 GO TO 2002
1503 A=(12.0*ROUGH)/(3.7*D(J,I))
          B=2.51/ABS(RE)
          X=-2.0*ALOG10(A+1.0E-12)
2001 Y=X+2.0*ALOG10(A+B*X)
          IF(ABS(Y)-1.0E-06)1505,1505,1504
1504 YPRIM=1.0+(.43429448*2.0*B)/(A+B*X)
          X=X-Y/YPRIM
          GO TO 2001
1505 FT=1./(X**2)
          RY=FT*L(J,I)*(ABS(VEL(J,I))*(VEL(J,I)))
          RX=(D(J,I)/12.)*2.*G
          HLTUB(J,I)=RY/RX
          XN=2.0

```



```
2002 QLH(J,I)=(HLTUB(J,I)*1.547/(QINC(J,I)*0.002228))*XN
      AS(J)=AS(J)+HLTUB(J,I)
      XEQ(J)=XEQ(J)+QLH(J,I)
535  CONTINUE
      DO 537 J=1,NL
      DOQ(J)=-AS(J)/XEQ(J)
537  CONTINUE
      M=0
      DO 1507 J=1,NL
      IF(ABS(DOQ(J))-DELT)1506,1506,1507
1506  M=M+1
1507  CONTINUE
      IF(M-NL)1508,1509,1509
1508  DO 538 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      DO 538 I=1,NAUX
      QT(J,I)=((QINC(J,I)+0.002228)/1.547)+DOQ(J)
      IF(LUG(J,I).EQ.0)GO TO 538
      KK=LUG(J,I)
      QT(J,I)=QT(J,I)-DOQ(KK)
538  CONTINUE
      DO 539 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      DO 539 I=1,NAUX
      QINC(J,I)=(1.547*QT(J,I))/0.002228
539  CONTINUE
      GO TO 2000
1509  DO 540 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      DO 540 I=1,NAUX
      QI(J,I)=QINC(J,I)
540  CONTINUE
      RETURN
      END
```

```

SUBROUTINE VAZIN
C *****
C * FAZ A DISTRIBUICAO DA VAZAO AO LONGO DO *
C * SISTEMA PARTINDO-SE DA VAZAO DE ENTRADA *
C *****
C
  DIMENSION NT(30),LIG(50,20),LEG(50,20),NO(30),Q(50,20)
  DIMENSION QENT(30),QINC(50,20)
  COMMON/BLK1/NL,NT
  COMMON/BLK6/LIG,NO
  COMMON/BLK11/QINC
  COMMON/BLK13/QENT,NTON
  COMMON/BLK16/LEG
  DO 507 J=1,NTON
    QQ=0
    K=0
    DO 507 I=1,NTON
      IF(LIG(J,I).EQ.0)GO TO 130
      IF(J-I)115,100,125
115  Q(J,I)=QQ/(NO(J)-K)
      GO TO 507
100  Q(J,J)=QENT(J)
      QQ=QQ+Q(J,I)
      K=K+1
      GO TO 507
125  Q(J,I)=Q(I,J)
      QQ=QQ+Q(J,I)
      K=K+1
      GO TO 507
130  Q(J,I)=0
507  CONTINUE
      DO 508 J=1,NL
        NAUX=NT(J)
        DO 508 I=1,NAUX
          I1=LEG(J,I)
          IF(I1.EQ.NAUX)GO TO 140
          I2=LEG(J,I+1)
          GO TO 141
140  I2=LEG(J,1)
141  QINC(J,I)=Q(I1,I2)
          IF(I1-I2)508,508,150
150  QINC(J,I)=-QINC(J,I)
508  CONTINUE
      RETURN
      END

```

```
C      SUBROUTINE PRESAD
C      *****
C      *CALCULO DA PRESSAO*
C      * NA SAIDA DOS NOS *
C      *****
C
      DIMENSION NT(30),LUG(50,20),LEG(50,20),DROP(50,20),P(30)
      COMMON/BLK1/NL,NT
      COMMON/BLK10/DROP,PENT
      COMMON/BLK14/LUG
      COMMON/BLK15/P
      COMMON/BLK16/LEG
      P(1)=PENT
      DO 500 J=1,NL
      NAUX=NT(J)-1
      DO 500 I=1,NAUX
      IF(J.EQ.1)GO TO 10
      IF((LUG(J,I).NE.0).AND.(LUG(J,I).LT.J))GO TO 500
10    I1=LEG(J,I)
      I2=LEG(J,I+1)
      P(I2)=P(I1)-DROP(J,I)
500  CONTINUE
      RETURN
      END
```

```

C      SUBROUTINE DIAM(MM,NN,DX,TST)
C      *****
C      * CALCULA OS DIAMETROS DOS TUBOS PARTINDO-SE *
C      * DAS PRESSOES CONHECIDAS NOS NOS DO SISTEMA *
C      *****
C
      DIMENSION F(30),PP(30),P(30),DROP(50,20),QENT(30)
      DIMENSION NT(30),FF(50,20),L(50,20),QTOT(50,20),O(50,20)
      COMMON/BLK1/NL,NT
      COMMON/BLK4/G
      COMMON/BLK5/NU,ROUGH
      COMMON/BLK7/D
      COMMON/BLK53/QTOT
      COMMON/BLK10/DROP,PENT
      COMMON/BLK12/L
      COMMON/BLK13/QENT,NTON
      COMMON/BLK15/P
      COMMON/BLK52/PP,RO,ALFA,DINC
      REAL L,NU
      DO 10 J=2,NTON
      F(J)=PP(J)-P(J)
10  CONTINUE
      PX=P(1)
      DO 30 J=1,NTON
      IF(PX-P(J))30,30,20
20  PX=P(J)
      KK=J
30  CONTINUE
      PPINC=PP(KK)-P(KK)
      PENT=PENT+PPINC
      CALL PRESAG
      H=0
      HX=0
      DO 40 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      DO 40 I=1,NAUX
      H=H+ABS(DROP(J,I))
      HX=HX+1
40  CONTINUE
      DROPM=H/HX
      DO 50 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      DO 50 I=1,NAUX
      FF(J,I)=DROP(J,I)-DROPM
50  CONTINUE
      AAA=FF(1,1)
      DO 90 J=1,NL
      NAUX=NT(J)
      DO 90 I=1,NAUX
      IF(J-1)60,60,70
60  IF(I-1)90,90,70
70  IF(FF(J,I)-AAA)90,90,80
80  MM=J
      NN=I

```

```
      AAA=FF(J,I)
90  CONTINUE
      TST=AAA/DROP
      IF(TST.LE.ALFA)GO TO 170
      DPQ=(8.0*0.002228*RO*L(MM,NN)*QTOT(MM,NN)**2/(G*(3.1416**2)))
100  DX=D(MM,NN)+DINC
      RE=4.0*0.002228*QTOT(MM,NN)/(3.1416*NU*(DX/12.0))
      A=(12.0*ROUGH)/(3.7*DX)
      B=2.51/ABS(RE)
      X=-2.0*ALOG10(A+1.0E-12)
110  Y=X+2.0*ALOG10(A+B*X)
      IF(ABS(Y)-1.0E-06)130,130,120
120  YPRIM=1.0+(.43429448*2.0*B)/(A+B*X)
      X=X-Y/YPRIM
      GO TO 110
130  FT=1.0/(X**2)
      FDD=FT/((DX/12.0)**5)
      DPQ=DPQ*FDD/144.0
      FD=DROP/DPO
      FEF=FDD-FD
      FFF=ABS(FEF)
      IF(FFF)140,170,150
140  BET=10.0*FDD
      GO TO 160
150  BET=10.0*FD
160  IF(FFF-BET)170,100,100
170  RETURN
      END
```

SUBROUTINE PDCS

 * PERDAS DE CARGA SECUNDARIA DOS ELEMENTOS EM CADA TUBO *

DIMENSION HLNRC(50,20),HLT(50,20),HLBIF(50,20),NT(30)
 DIMENSION HLCOT(50,20),HLPNS(50,20),HLGAV(50,20)
 DIMENSION HLANG(50,20),HLRET(50,20),HLSE(50,20)
 DIMENSION HL90(50,20),HL45(50,20),HL180(50,20)
 DIMENSION HLSEC(50,20),HLENT(50,20),HLERC(50,20)
 DIMENSION HLTCD(50,20),HLGLGB(50,20),HLSC(50,20)
 COMMON/BLK1/NL,NT
 COMMON/BLK33/HLNRC,NDRC
 COMMON/BLK34/HLT,NDTC
 COMMON/BLK35/HLBIF,NDBIF
 COMMON/BLK36/HLTCD,NDTCD
 COMMON/BLK37/HLCOT,NDCOT
 COMMON/BLK38/HLPNS,NDPCNS
 COMMON/BLK39/HLGAV,NDVG
 COMMON/BLK40/HLGLOB,NDVGL
 COMMON/BLK41/HLANG,NDVANG
 COMMON/BLK42/HLRET,NDVRET
 COMMON/BLK43/HLSE,NDSE
 COMMON/BLK44/HLSC,NDSC
 COMMON/BLK45/HL90,NDC90
 COMMON/BLK46/HL45,NDC45
 COMMON/BLK47/HL180,NDC180
 COMMON/BLK49/HLERC,NDERC
 COMMON/BLK50/HLENT,NDENT
 COMMON/BLK51/HLSEC
 CALL PCNRC
 CALL TECOM
 CALL BIFURC
 CALL TECDER
 CALL COTOVE
 CALL CPDCNS
 CALL GAVETA
 CALL GLOBO
 CALL ANGULO
 CALL RETEN
 CALL SENLAR
 CALL SCONTR
 CALL J90
 CALL J45
 CALL J180
 CALL PCERC
 CALL ENTRAD
 DO 600 J=1,NL
 NAUX=NT(J)
 DO 600 I=1,NAUX
 HLSEC(J,I)=HLNRC(J,I)+HLT(J,I)+HLBIF(J,I)+HLTCD(J,I)+
 *HLCOT(J,I)+HLPNS(J,I)+HLGAV(J,I)+HLGLOB(J,I)+HLANG(J,I)+
 *HLRET(J,I)+HLSE(J,I)+HLSC(J,I)+HL90(J,I)+HL45(J,I)+
 *HL180(J,I)+HLERC(J,I)+HLENT(J,I)

600 CONTINUE
RETURN
END

```

SUBROUTINE PCNRC
C *****
C * PERDA DE CARGA EM REDUCAO CONCENTRICA COM ALARGAMENTO GRADUAL *
C *****
C
  DIMENSION TAB1(6,10),HLNRC(50,20)
  DIMENSION AC(30),REL1(30),V(50,20)
  DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
  COMMON/BLK4/G
  COMMON/BLK7/D
  COMMON/BLK8/QI
  COMMON/BLK9/TAB1,AC,REL1
  COMMON/BLK33/HLNRC,NORC
  COMMON/BLK88/ICONTR
  ICONTR=10
  CALL Z(810,820)
10 DO 527 M=1,NORC
  J=1
1510 J=J+1
  XIS5=REL1(M)-TAB1(1,J)
  IF(XIS5)1511,1511,1510
1511 XIS1=TAB1(1,J)
  XIS2=TAB1(1,J-1)
  I=1
1512 I=I+1
  XIS6=AC(M)-TAB1(I,1)
  IF(XIS6)1513,1513,1512
1513 XIS3=TAB1(I,1)
  XIS4=TAB1(I-1,1)
  XIS7=TAB1(I,J)
  XIS8=TAB1(I-1,J)
  XIS9=TAB1(I-1,J-1)
  XIS10=TAB1(I,J-1)
  XIS11=(XIS8-XIS9)*(REL1(M)-XIS2)/(XIS1-XIS2)+XIS9
  XIS12=(REL1(M)-XIS2)*(XIS7-XIS10)/(XIS1-XIS2)+XIS10
  CA1=(AC(M)-XIS4)*(XIS12-XIS11)/(XIS3-XIS4)+XIS11
  READ(80,1)K
  1 FORMAT(I3)
  DO 625 N=1,K
  READ(80,2)J,I
  2 FORMAT(2I3)
  V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
  HLNRC(J,I)=CA1*(ABS(V(J,I))*(V(J,I))/(2.0*G))
625 CONTINUE
527 CONTINUE
20 RETURN
END

```



```
C      SUBROUTINE TECOM
C      *****
C      * PERDA DE CARGA EM TE COMUM *
C      *****
C
      DIMENSION HLT(50,20),V(50,20),CA2(30)
      DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
      COMMON/BLK4/G
      COMMON/BLK7/D
      COMMON/BLK8/QI
      COMMON/BLK17/CA2
      COMMON/BLK34/HLT,NDTC
      COMMON/BLK88/ICONTR
      ICONTR=20
      CALL Z(&10,&20)
10  DO 640 M=1,NDTC
      READ(80,1)K
      1  FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
      READ(80,2)J,I
      2  FORMAT(2I3)
      V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
      HLT(J,I)=CA2(M)*(ABS(V(J,I))*(V(J,I))/(2.0*G))
625  CONTINUE
640  CONTINUE
      20  RETURN
      END
```

```

SUBROUTINE BIFURC
C *****
C * PERDA DE CARGA EM BIFURCAÇÃO *
C *****
C
  DIMENSION HLBIF(50,20),BETA(30)
  DIMENSION TAB2(5,2),V(50,20)
  DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
  COMMON/BLK4/G
  COMMON/BLK7/D
  COMMON/BLK8/QI
  COMMON/BLK18/BETA,TAB2
  COMMON/BLK35/HLBIF,NDBIF
  COMMON/BLK38/ICONTR
  ICONTR=30
  CALL Z(810,820)
10  DO 532 M=1,NDBIF
    DO 520 I=1,5
      FATOR1=BETA(M)-TAB2(I,1)
      IF(FATOR1.EQ.0.)GO TO 2003
520  CONTINUE
2003 CA3=TAB2(I,2)
      READ(80,1)K
      1  FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
        READ(80,2)J,I
        2  FORMAT(2I3)
        V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
        HLBIF(J,I)=CA3*(ABS(V(J,I))*(V(J,I))/(2.0*G))
625  CONTINUE
532  CONTINUE
      20  RETURN
      END
```

```

SUBROUTINE TECDER
C *****
C * PERDA DE CARGA EM DERIVACOES ANGULARES *
C *****
C
DIMENSION TAB3(5,2)
DIMENSION V(50,20),HLTCD(50,20),GAMA(30)
DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
COMMON/BLK4/G
COMMON/BLK7/D
COMMON/BLK8/QI
COMMON/BLK19/GAMA,TAB3
COMMON/BLK36/HLTCD,NOTCD
COMMON/BLK88/ICONTR
ICONTR=40
CALL Z(810,820)
10 DO 642 M=1,NOTCD
DO 521 I=1,5
FATOR2=GAMA(M)-TAB3(I,1)
IF(FATOR2.EQ.0.)GO TO 2004
521 CONTINUE
2004 CA4=TAB3(I,2)
READ(80,1)K
1 FORMAT(I3)
DO 625 N=1,K
READ(80,2)J,I
2 FORMAT(2I3)
V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
HLTCD(J,I)=CA4*(ABS(V(J,I))*(V(J,I)))/(2.0*G)
625 CONTINUE
642 CONTINUE
20 RETURN
END

```

```
C      SUBROUTINE COTOVE
C      *****
C      * PERDA DE CARGA EM COTOVELOS *
C      *****
C
      DIMENSION V(50,20),HLCOT(50,20),TETA(30)
      DIMENSION TAB4(5,2)
      DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
      COMMON/BLK4/G
      COMMON/BLK7/D
      COMMON/BLK8/QI
      COMMON/BLK20/TETA,TAB4
      COMMON/BLK37/HLCOT,NDCOT
      COMMON/BLK88/ICONTR
      ICONTR=50
      CALL Z(810,820)
10    DO 644 M=1,NDCOT
      DO 522 I=1,5
      FATOR3=TETA(M)-TAB4(I,1)
      IF(FATOR3.EQ.0.)GO TO 2005
522  CONTINUE
2005  CA5=TAB4(I,2)
      READ(80,1)K
      1  FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
      READ(80,2)J,I
      2  FORMAT(2I3)
      V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
      HLCOT(J,I)=CA5*(ABS(V(J,I))*(V(J,I))/(2.0*G))
625  CONTINUE
644  CONTINUE
20    RETURN
      END
```

```
C      SUBROUTINE CPDCNS
C      *****
C      * PERDA DE CARGA NA SAIDA *
C      *****
C
      DIMENSION V(50,20),HLPNS(50,20),CA6(30)
      DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
      COMMON/BLK4/G
      COMMON/BLK7/D
      COMMON/BLK8/QI
      COMMON/BLK21/CA6
      COMMON/BLK38/HLPNS,NOPCNS
      COMMON/BLK88/ICONTR
      ICONTR=60
      CALL Z(810,820)
10  DO 646 M=1,NOPCNS
      READ(80,1)K
      1  FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
      READ(80,2)J,I
      2  FORMAT(2I3)
      V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
      HLPNS(J,I)=CA6(M)*(ABS(V(J,I))*(V(J,I))/(2.0*G))
625  CONTINUE
646  CONTINUE
      20  RETURN
      END
```

```

C      SUBROUTINE GAVETA
C      *****
C      * PERDA DE CARGA EM VALVULAS GAVETA COMPLETAMENTE ABERTA *
C      *****
C
      DIMENSION V(50,20),HLGAV(50,20),CA7(30)
      DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
      COMMON/BLK4/G
      COMMON/BLK7/D
      COMMON/BLK8/QI
      COMMON/BLK22/CA7
      COMMON/BLK39/HLGAV,NDVG
      COMMON/BLK98/ICONTR
      ICONTR=70
      CALL Z(&10,&20)
10    DO 648 M=1,NDVG
      READ(80,1)K
      1  FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
      READ(80,2)J,I
      2  FORMAT(2I3)
      V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
      HLGAV(J,I)=CA7(M)*(ABS(V(J,I))*(V(J,I))/(2.0*G))
625  CONTINUE
648  CONTINUE
      20  RETURN
      END
```

```
C      SUBROUTINE GLOBO
C      *****
C      * PERDA DE CARGA EM VALVULAS GLOBO COMPLETAMENTE ABERTA *
C      *****
C
      DIMENSION V(50,20),HLGLOB(50,20),CA8(30)
      DIMENSION QI(50,20),O(50,20)
      COMMON/BLK4/G
      COMMON/BLK7/D
      COMMON/BLK8/QI
      COMMON/BLK23/CA8
      COMMON/BLK40/HLGLOB,NDVGL
      COMMON/BLK88/ICONTR
      ICONTR=80
      CALL Z(&10,&20)
10  DO 650 M=1,NDVGL
      READ(80,1)K
      1  FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
      READ(80,2)J,I
      2  FORMAT(2I3)
      V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((O(J,I)/12.0)**2))
      HLGLOB(J,I)=CA8(M)*(ABS(V(J,I))*(V(J,I)))/(2.0*G))
625  CONTINUE
650  CONTINUE
      20  RETURN
      END
```

```
C      SUBROUTINE ANGULO.
C      *****
C      * PERDA DE CARGA EM VALVULAS ANGULAR COMPLETAMENTE ABERTA *
C      *****
C
      DIMENSION V(50,20),HLANG(50,20),CA9(30)
      DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
      COMMON/BLK4/G
      COMMON/BLK7/D
      COMMON/BLK8/QI
      COMMON/BLK24/CA9
      COMMON/BLK41/HLANG,NDVANG
      COMMON/BLK88/ICONTR
      ICONTR=90
      CALL Z(&10,&20)
10  DO 652 M=1,NDVANG
      READ(80,1)K
      1  FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
      READ(80,2)J,I
      2  FORMAT(2I3)
      V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
      HLANG(J,I)=CA9(M)*(ABS(V(J,I))*(V(J,I)))/(2.0*G))
625  CONTINUE
652  CONTINUE
      20  RETURN
      END
```


C
C
C
C

SUBROUTINE RETEN

* PERDA DE CARGA EM VALVULAS DE RETENCAO COMPLETAMENTE ABERTA *

DIMENSION V(50,20),HLRET(50,20),CA10(30)

DIMENSION QI(50,20),D(50,20)

COMMON/BLK4/G

COMMON/BLK7/D

COMMON/BLK8/QI

COMMON/BLK25/CA10

COMMON/BLK42/HLRET,NOVRET

COMMON/BLK88/ICONTR

ICONTR=100

CALL Z(&10,&20)

10 DO 654 M=1,NOVRET

READ(80,1)K

1 FORMAT(I3)

DO 625 N=1,K

READ(80,2)J,I

2 FORMAT(2I3)

$V(J,I) = 4.0 * 0.002228 * QI(J,I) / (3.1416 * ((D(J,I) / 12.0) ** 2))$

$HLRET(J,I) = CA10(M) * (ABS(V(J,I)) * (V(J,I))) / (2.0 * G)$

625 CONTINUE

654 CONTINUE

20 RETURN

END

```

SUBROUTINE SENLAR
C *****
C * PERDA DE CARGA EM ALARGAMENTO BRUSCO *
C *****
C
  DIMENSION V(50,20),HLSE(50,20),REL2(30)
  DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
  DIMENSION TAB5(5,2)
  COMMON/BLK4/G
  COMMON/BLK7/D
  COMMON/BLK8/QI
  COMMON/BLK26/TAB5,REL2
  COMMON/BLK43/HLSE,NDSE
  COMMON/BLK88/ICONTR
  ICONTR=110
  CALL Z(&10,&20)
10  DO 656 M=1,NDSE
    I=0
1514  I=I+1
      YLON1=REL2(M)-TAB5(I,1)
      IF(YLON1)1515,1515,1514
1515  YLON2=TAB5(I,1)
      YLON3=TAB5(I-1,1)
      YLON4=TAB5(I,2)
      YLON5=TAB5(I-1,2)
      CA11=(REL2(M)-YLON3)*(YLON4-YLON5)/(YLON2-YLON3)+YLON5
      READ(80,1)K
1    FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
        READ(80,2)J,I
2    FORMAT(2I3)
      V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
      HLSE(J,I)=CA11*(ABS(V(J,I))*(V(J,I)))/(2.0*G))
625  CONTINUE
656  CONTINUE
20  RETURN
    END

```

```

SUBROUTINE SCONTR
C *****
C * PERDA DE CARGA EM REDUCAO BRUSCA *
C *****
C
  DIMENSION V(50,20),HLSC(50,20),REL3(30)
  DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
  DIMENSION TAB6(5,2)
  COMMON/BLK4/G
  COMMON/BLK7/D
  COMMON/BLK8/QI
  COMMON/BLK27/TAB6,REL3
  COMMON/BLK44/HLSC,NDSC
  COMMON/BLK88/ICONTR
  ICONTR=120
  CALL Z(&10,&20)
10  DO 658 M=1,NDSC
    I=0
1516  I=I+1
      YLON1=REL3(M)-TAB6(I,1)
      IF(YLON1)1517,1517,1516
1517  YLON2=TAB6(I,1)
      YLON3=TAB6(I-1,1)
      YLON4=TAB6(I,2)
      YLON5=TAB6(I-1,2)
      CA12=(REL3(M)-YLON3)*(YLON4-YLON5)/(YLON2-YLON3)+YLON5
      READ(80,1)K
1    FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
        READ(80,2)J,I
2    FORMAT(2I3)
      V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
      HLSC(J,I)=CA12*(ABS(V(J,I))*(V(J,I)))/(2.0*G)
625  CONTINUE
658  CONTINUE
20  RETURN
    END

```

```

SUBROUTINE J90
C *****
C * PERDA DE CARGA EM JOELHOS DE 90 GRAUS *
C *****
C
  DIMENSION V(50,20),HL90(50,20),REL4(30)
  DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
  DIMENSION TAB7(10,2)
  COMMON/BLK4/G
  COMMON/BLK7/D
  COMMON/BLK8/QI
  COMMON/BLK28/TAB7,REL4
  COMMON/BLK45/HL90,NDC90
  COMMON/BLK88/ICONTR
  ICONTR=130
  CALL Z(10,20)
10  DO 660 M=1,NDC90
    I=0
1518  I=I+1
      YLON1=REL4(M)-TAB7(I,1)
      IF(YLON1)1519,1519,1518
1519  YLON2=TAB7(I,1)
      YLON3=TAB7(I-1,1)
      YLON4=TAB7(I,2)
      YLON5=TAB7(I-1,2)
      CA13=(REL4(M)-YLON3)*(YLON4-YLON5)/(YLON2-YLON3)+YLON5
      READ(80,1)K
1    FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
        READ(80,2)J,I
2      FORMAT(2I3)
      V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
      HL90(J,I)=CA13*(ABS(V(J,I))*(V(J,I))/(2.0*G))
625  CONTINUE
660  CONTINUE
20  RETURN
    END
```

```
C      SUBROUTINE J45
C      *****
C      * PERDA DE CARGA EM JOELHOS DE 45 GRAUS *
C      *****
C
      DIMENSION V(50,20),HL45(50,20),REL5(30)
      DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
      DIMENSION TAB8(10,2)
      COMMON/BLK4/G
      COMMON/BLK7/D
      COMMON/BLK8/QI
      COMMON/BLK29/TAB8,REL5
      COMMON/BLK46/HL45,NOC45
      COMMON/BLK88/ICONTR
      ICONTR=140
      CALL Z(810,820)
10  DO 662 M=1,NOC45
      I=0
1520 I=I+1
      YLON1=REL5(M)-TAB8(I,1)
      IF(YLON1)1521,1521,1520
1521 YLON2=TAB8(I,1)
      YLON3=TAB8(I-1,1)
      YLON4=TAB8(I,2)
      YLON5=TAB8(I-1,2)
      CA14=(REL5(M)-YLON3)*(YLON4-YLON5)/(YLON2-YLON3)+YLON5
      READ(80,1)K
1  FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
      READ(80,2)J,I
2  FORMAT(2I3)
      V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
      HL45(J,I)=0.5*(CA14*(ABS(V(J,I))*(V(J,I))/(2.0*G)))
625 CONTINUE
662 CONTINUE
20  RETURN
      END
```

```
C      SUBROUTINE J180
C      *****
C      * PERDA DE CARGA EM JOELHOS DE 180 GRAUS *
C      *****
C
      DIMENSION V(50,20),HL180(50,20),REL6(30)
      DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
      DIMENSION TAB9(10,2)
      COMMON/BLK4/G
      COMMON/BLK7/D
      COMMON/BLK8/QI
      COMMON/BLK30/TAB9,REL6
      COMMON/BLK47/HL180,NDC180
      COMMON/BLK88/ICONTR
      ICONTR=150
      CALL Z(&10,&20)
10    DO 664 M=1,NDC180
      I=0
1522  I=I+1
      YLON1=REL6(M)-TAB9(I,1)
      IF(YLON1)1523,1523,1522
1523  YLON2=TAB9(I,1)
      YLON3=TAB9(I-1,1)
      YLON4=TAB9(I,2)
      YLON5=TAB9(I-1,2)
      CA15=(REL6(M)-YLON3)*(YLON4-YLON5)/(YLON2-YLON3)+YLON5
      READ(80,1)K
1    FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
      READ(80,2)J,I
2    FORMAT(2I3)
      V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
      HL180(J,I)=(CA15*(ABS(V(J,I))*(V(J,I))/(2.0*G)))/0.25
625  CONTINUE
664  CONTINUE
20   RETURN
      END
```

```
C      SUBROUTINE PCERC
C      *****
C      * PERDA DE CARGA EM REDUCAO CONCENTRICA COM REDUCAO GRADUAL *
C      *****
C
      DIMENSION V(50,20),HLERC(50,20)
      DIMENSION QI(50,20),D(50,20)
      DIMENSION REL7(30),FI(30)
      COMMON/BLK4/G
      COMMON/BLK7/D
      COMMON/BLK8/QI
      COMMON/BLK48/REL7,FI
      COMMON/BLK49/HLERC,NDERC
      COMMON/BLK88/ICONTR
      ICONTR=160
      CALL Z(&10,&20)
10  DO 624 M=1,NDERC
      H=0.63+0.37*(REL7(M))**3
      CA16=((1/H-1)**2)*SIN(FI(M))
      READ(80,1)K
1  FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
      READ(80,2)J,I
2  FORMAT(2I3)
      V(J,I)=4.0*0.002228*QI(J,I)/(3.1416*((D(J,I)/12.0)**2))
      HLERC(J,I)=CA16*(ABS(V(J,I))*(V(J,I)))/(2.0*G))
625 CONTINUE
624 CONTINUE
20  RETURN
      END
```

```
C      SUBROUTINE ENTRAD
C      *****
C      * PERDA DE CARGA NA ENTRADA *
C      *****
C
      DIMENSION DA(30),HLENT(50,20),CA(30),QA(30)
      COMMON/BLK2/QA,DA,CA
      COMMON/BLK4/G
      COMMON/BLK50/HLENT,NDENT
      COMMON/BLK88/ICONTR
      ICONTR=170
      CALL Z(&10,&20)
10  DO 631 M=1,NDENT
      V=4.0*QA(M)*0.002228/(3.1416*((DA(M)/12.0)**2))
      READ(80,1)K
      1  FORMAT(I3)
      DO 625 N=1,K
      READ(80,2)J,I
      2  FORMAT(2I3)
      HLENT(J,I)=CA(M)*(V**2/(2.0*G))
625  CONTINUE
631  CONTINUE
      20  RETURN
      END
```



```

SUBROUTINE YPSLON
C *****
C * ESTA SUBROUTINE CRIA O ARQUIVO TUBO EM *
C * DISCO A PARTIR DOS CARTOES PARA TUBO *
C *****
C
  DIMENSION CART(80)
10 READ(90,1,END=70)CART
  1 FORMAT(80A1)
  WRITE(80,1)CART
  GO TO 10
70 LOCK(80)
  RETURN
  END
```

```
C      SUBROUTINE Z(*,*)
C      *****
C      *  ESTA SUBROUTINE POSICIONA O ARQUIVO  *
C      *****
C
      COMMON/BLK88/ICONTR
20  READ(80,1,END=30)I,J
      1  FORMAT(2I3)
      IF(I.EQ.ICONTR)GO TO 10
      GO TO 20
10  IF(J.EQ.0)RETURN 1
      RETURN 2
30  REWIND(80)
      GO TO 20
      END
```

RESOLUCAO DO SISTEMA HIDRAULICO 6/5
ALFA=1. E PTM=1.

DADOS DE ENTRADA PARA O SISTEMA

NL=6
NT(1)=5
NT(2)=5
NT(3)=4
NT(4)=4
NT(5)=5
NT(6)=5
DELT=0.001
PENT=100.
NTON=16
NU=0.0000096
G=32.2
ROUGH=0.00015
RO=62.4
ALFA=1.
DINC=1.
PTM=1.

MATRIZ DAS VAZÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA

70476.	0.	-22018.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	-14095.	0.	0.
-17614.	-16671.	0.	0.	0.	0.

MATRIZ DOS TRECHOS COMUNS A DOIS ANEIS

0	0	2	3	0
0	0	0	4	1
1	4	5	0	
2	0	6	3	

3	6	0	0	0
4	0	0	0	5

MATRIZ QUE DEFINE A LIGACAO ENTRE OS NOS

1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1								

MATRIZ QUE DEFINE OS NOS DE CADA ANEL

1	5	7	8	2
7	11	12	13	8
2	8	9	3	
8	13	14	9	
3	9	10	6	4
9	14	15	16	10

MATRIZ QUE DEFINE O NUMERO DE TUBOS EM CADA NO

3	3	4	3	3	3	3	4
4	4	3	3	4	4	3	3

MATRIZ DOS COMPRIMENTOS DOS TUBOS

334.0049	301.8518	420.2959	382.2358	328.0999
323.5059	328.4280	349.4258	374.0298	420.2959
382.2358	419.6399	378.2998	455.0740	
374.0298	413.7339	374.0339	419.6399	
378.2998	393.7200	328.4280	344.5049	345.4900
374.0339	366.4868	328.4280	323.5068	393.7200

MATRIZ DOS DIAMETROS NOMINAIS DOS TUBOS

24.	20.	16.	16.	24.
20.	20.	16.	12.	16.
16.	12.	16.	16.	
12.	12.	12.	12.	
16.	10.	16.	16.	16.
12.	10.	10.	10.	10.

MATRIZ DOS COEFICIENTES DE HAZEM WILLIAMS

110.	110.	110.	110.	110.
110.	110.	110.	110.	110.
110.	110.	110.	110.	
110.	110.	110.	110.	
110.	110.	110.	110.	110.
110.	110.	110.	110.	110.

ANEL	TUBO	RESOLUCAO DO SISTEMA HIDRAULICO 6/5			DIAMETRO (IN)
		P.DE CARGA (FT)	VAZAO (GPM)	DIF.DE PRESSAO (LBS/IN**2)	
1	1	12.09	27938.	5.24	24.
1	2	27.78	27938.	12.04	20.
1	3	13.58	9156.	5.89	16.
1	4	26.35	13487.	11.42	16.
1	5	27.09	42499.	11.74	24.
2	1	13.64	18781.	5.91	20.
2	2	13.85	18781.	6.00	20.
2	3	46.21	18781.	20.03	16.
2	4	50.11	9795.	26.05	12.
3	2	115.16	12848.	49.90	12.
3	3	0.61	1917.	0.26	16.
3	4	142.11	29011.	61.58	16.
4	2	83.09	10968.	36.00	12.
4	3	28.01	6639.	12.13	12.
5	2	31.89	4292.	13.82	10.
5	3	10.08	8917.	4.37	16.
5	4	10.57	8917.	4.58	16.
5	5	10.60	8917.	4.60	16.
6	2	1.40	877.	0.61	10.
6	3	1.26	877.	0.55	10.
6	4	1.24	877.	0.54	10.

CALCULO DAS PRESSOES NOS NOS

NO 1 = 100.

NO 2 = 88.26

NO 3 = 26.65

NO 4 = 22.04

NO 5 = 94.76

NO 6 = 17.46

NO 7 = 82.72

NO 8 = 76.82

NO 9 = 26.90

NO 10 = 13.08

NO 11 = 76.80

NO 12 = 70.80

NO 13 = 50.78

NO 14 = 14.77

NO 15 = 14.16

NO 16 = 13.61

RESOLUCAO DO SISTEMA HIDRAULICO 6/5
ALFA=1. E PTM=0.

DADOS DE ENTRADA PARA O SISTEMA

NL=6
NT(1)=5
NT(2)=5
NT(3)=4
NT(4)=4
NT(5)=5
NT(6)=5
DELT=0.001
PENT=100.
NTGN=16
NU=0.0000096
G=32.2
ROUGH=0.00015
RO=62.4
ALFA=1.
DINC=1.
PTM=0.

MATRIZ DAS VAZOES DE ENTRADA E SAIDA DO SISTEMA

70476.	0.	-22018.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	-14095.	0.	0.
-17614.	-16671.	0.	0.	0.	0.

MATRIZ DOS TRECHOS COMUNS A DOIS ANEIS

0	0	2	3	0
0	0	0	4	1
1	4	5	0	
2	0	6	3	

3	6	0	0	0
4	0	0	0	5

MATRIZ QUE DEFINE A LIGACAO ENTRE OS NOS

1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1								

MATRIZ QUE DEFINE OS NOS DE CADA ANEL

1	5	7	8	2
7	11	12	13	8
2	8	9	3	
8	13	14	9	
3	9	10	6	4
9	14	15	16	10

MATRIZ QUE DEFINE O NUMERO DE TUBOS EM CADA NO

3	3	4	3	3	3	3	4
4	4	3	3	4	4	3	3

MATRIZ DOS COMPRIMENTOS DOS TUBOS

334.0049	301.8518	420.2959	382.2358	328.0999
323.5059	328.4280	349.4258	374.0298	420.2959
382.2358	419.6399	378.2998	455.0740	
374.0298	413.7339	374.0339	419.6399	
378.2998	393.7200	328.4280	344.5049	345.4900
374.0339	366.4868	328.4280	323.5068	393.7200

MATRIZ DOS DIAMETROS NOMINAIS DOS TUBOS

24.	20.	16.	16.	24.
20.	20.	16.	12.	16.
16.	12.	16.	16.	
12.	12.	12.	12.	
16.	10.	16.	16.	16.
12.	10.	10.	10.	10.

MATRIZ DOS COEFICIENTES DE HAZEM WILLIAMS

110.	110.	110.	110.	110.
110.	110.	110.	110.	110.
110.	110.	110.	110.	
110.	110.	110.	110.	
110.	110.	110.	110.	110.
110.	110.	110.	110.	110.

RESOLUCAO DO SISTEMA HIDRAULICO 6/5					
ANEL	TUBO	P.DE CARGA (FT)	VAZAO (GPM)	DIF.DE PRESSAO (LBS/IN**2)	DIAMETRO (IN)
1	1	15.15	31343.	6.56	24.
1	2	34.85	31343.	15.10	20.
1	3	10.01	7827.	4.34	16.
1	4	37.06	16038.	16.05	16.
1	5	22.98	39088.	9.96	24.
2	1	21.21	23514.	9.19	20.
2	2	21.53	23514.	9.33	20.
2	3	52.73	23514.	22.85	17.
2	4	85.46	11709.	37.03	13.
3	2	46.75	12155.	20.26	14.
3	3	6.33	6526.	2.75	16.
3	4	90.14	23046.	39.06	16.
4	2	48.24	17617.	20.90	16.
4	3	1.68	1541.	0.73	12.
5	2	29.03	4090.	12.58	10.
5	3	7.32	7563.	3.17	16.
5	4	7.68	7563.	3.33	16.
5	5	7.70	7563.	3.34	16.
6	2	9.84	2432.	4.26	10.
6	3	8.82	2432.	3.82	10.
6	4	8.69	2432.	3.76	10.

CALCULO DAS PRESSOES NOS NOS

NO 1 = 145.80

NO 2 = 135.84

NO 3	=	96.80
NO 4	=	56.50
NO 5	=	139.23
NO 6	=	53.17
NO 7	=	124.13
NO 8	=	119.80
NO 9	=	62.58
NO 10	=	50.00
NO 11	=	114.94
NO 12	=	105.60
NO 13	=	82.76
NO 14	=	61.85
NO 15	=	57.59
NO 16	=	53.77